

**Univerzita Pardubice**

**Fakulta ekonomicko-správní**

**Modelování dosažitelných úspor primární energie při využití  
odpadního tepla při výrobě elektrické energie v České republice**

**Bc. Procházková Jana**

**Diplomová práce**

**2011**

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jana PROCHÁZKOVÁ**  
Osobní číslo: **E09733**  
Studijní program: **N6202 Hospodářská politika a správa**  
Studijní obor: **Ekonomika veřejného sektoru**  
Název tématu: **Modelování dosažitelných úspor primární energie při využití odpadního tepla při výrobě elektrické energie v České republice**  
Zadávací katedra: **Ústav veřejné správy a práva**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je modelování úspor při využití odpadního tepla.

- 1) Úspory v kontextu udržitelnosti
- 2) Obnovitelné a neobnovitelné zdroje a potřeby jejich šetření
- 3) Možnosti modelování úspor
- 4) Modelování úspor plynu, uhlí, biomasy a elektrické energie

Rozsah grafických prací: —  
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- BARAN, Václav. Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace. 1. vydání. Praha: Academia, 2002. 159 s. ISBN 80-200-1048-3.  
CENEK, Miroslav a kolektiv. Obnovitelné zdroje energie. Praha: FFC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.  
LOMBORG, Björn. Skeptický ekolog. 2. dotisk. Vimperk: Nakladatelství Dokořán, s.r.o., 2007. 587 s. ISBN 80-7363-059-1, ISBN: 80-86389-42-4.  
QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.  
WEGER, Jan; HAVLÍČKOVÁ, Kamila a kolektiv. Biomasa: Obnovitelný zdroj v krajině. 1. vydání. Průhonice: VÚKOZ, 2003. 51 s. ISBN 80-85116-32-4.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Robert Baťa, Ph.D.**  
Ústav veřejné správy a práva

Datum zadání diplomové práce: **22. června 2010**  
Termín odevzdání diplomové práce: **6. května 2011**

doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.  
děkanka

L.S.

doc. Ing. Jolana Volejníková, Ph.D.  
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 18. srpna 2010

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 18. 4. 2011

Bc. Jana Procházková

## **ANOTACE**

Práce se zaměřuje na charakteristiku obnovitelných a neobnovitelných zdrojů. Zabývá se modelováním jednoduché lineární regrese. Na závěr jsou vypočítány úspory vybraných obnovitelných a neobnovitelných zdrojů v ČR.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

obnovitelné zdroje, neobnovitelné zdroje, regresní modely

## **TITLE**

Modeling of primary energy savings achievable by using waste heat power generation in the Czech Republic

## **ANNOTATION**

This work is focuses on the characteristics of renewable and nonrenewable resources. It deals with the modeling of simple linear regression. In conclusion, there are the calculated savings of selected renewable and nonrenewable resources in the country.

## **KEYWORDS**

renewable, non-renewable sources, regression models

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Ing. Robertovi Baťovi, Ph. D. za připomínky a návrhy týkající se mé diplomové práce.

# Obsah

Úvod.....	12
1. Úspory v kontextu udržitelnosti.....	13
1.1. Přenos tepla .....	13
1.2. Potencionální vývoj.....	13
1.3. Uhlíková stopa.....	14
1.4. Dílčí shrnutí.....	16
2. Obnovitelné zdroje.....	17
2.1. Energie vody .....	17
2.2. Energie větru .....	18
2.3. Energie Slunce.....	19
2.4. Geotermální energie .....	20
2.5. Biomasa.....	20
2.6. Dílčí shrnutí.....	24
3. Neobnovitelné zdroje .....	25
3.1. Černé a hnědé uhlí.....	25
3.2. Ropa .....	25
3.3. Zemní plyn .....	26
3.4. Dílčí shrnutí.....	27
4. Spotřeba energie .....	28
4.1. Podíl obnovitelných zdrojů .....	31
4.2. Podíl neobnovitelných zdrojů.....	33
4.3. Dílčí shrnutí.....	36
5. Odpadní teplo.....	37
5.1. Úspora při využití odpadního tepla .....	38
5.2. Dílčí shrnutí.....	46
6. Statistické výpočty.....	47
6.1. Regresní model.....	47
6.1.1. Závislost mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií .....	49
6.1.2. Závislost mezi časem a vyrobenou elektrickou energií.....	52
6.2. Poměrová čísla .....	53
6.3. Dílčí shrnutí.....	57

7.	Komparace úspor vybraných druhů paliv .....	58
7.1.	Minulý vývoj úspor .....	58
7.2.	Odhadovaný vývoj úspor .....	60
7.3.	Dílčí shrnutí.....	62
	Závěr .....	63
	Příloha.....	68



## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Potenciální podíly obnovitelných zdrojů energií na spotřebě primární energie v roce 2050.....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2: Přehled vybraných vodních elektráren v ČR (stav k 31. 12. 2006).....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 3: Prostorové rozložení hustoty výkonu větru [<math>W/m^2</math>] na území ČR ve výšce 40 m n. m. ....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 4: Intenzita slunečního záření v <math>kWh/m^2</math> za rok.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 5: Mapa oblasti využití geotermální energie.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 6: Celková produkce primární energie v ČR.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 7: Zdroje používané v elektrárnách v EU za rok 2008.....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 8: Spotřeba elektrické energie na jednoho obyvatele v ČR.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 9: Vývoj průměrné ceny za elektrickou energii.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 10: Využití obnovitelných zdrojů v EU za rok 2008.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 11: Výroba elektřiny v GWh z vodních elektráren vlastněné společností ČEZ.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 12: Podíl elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů v ČR.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 13: Spotřeba černého uhlí v tunách za rok 2009 podle místa spotřeby.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 14: Spotřeba hnědého uhlí včetně lignitu za rok 2009 podle místa spotřeby.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 15: Spotřeba zemního plynu za rok 2009 podle místa spotřeby.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 16: Vyrobená elektřina (brutto) v letech 2001 - 2010.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 17: Závislost spotřeby a výroby elektrické energie.....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 18: Bodový graf závislosti s proloženou regresní lineární přímkou <math>y = 0,8035 x - 1\,531,8</math>.....</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 19: Úspory vybraných druhů paliv.....</i>	<i>59</i>

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Výhřevnost různých druhů biomasy .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 2: Dostupný a využívaný potenciál biomasy v ČR.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 3: Výnosy z pěstování rostlin ve světě .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 4: Množství energie vyrobené v elektrárnách.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 5: Odpadní teplo při výrobě elektrické energie za období 2001 - 2010 .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 6: Úspora biomasy při využití odpadního tepla v roce 2010.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 7: Úspora zemního plynu a hnědého uhlí tříděného při využití odpadního tepla.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 8: Úspora vybraného paliva .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 9: Výpočet proměnných u závislosti mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 10: Výpočet bazického a řetězového indexu výroby elektrické energie .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 11: Výpočet bazického a řetězového indexu odpadního tepla .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 12: Cena konkrétního paliva .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 13: Úspora vybraného druhu paliva v Kč .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 14: Úspora zemního plynu v Kč .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 15: Odhad úspor vybraných druhů paliva v letech 2011 – 2015 v mld. Kč.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 16: Spotřeba elektrické energie na 1 obyvatele.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 17: Výpočet proměnných u závislosti mezi časem a vyrobenou elektrickou energií.....</i>	<i>69</i>

## Seznam zkratek

CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
GWh	gigawatthodina
kWh	kilowatthodina
MJ	megajoule
MVE	malá vodní elektrárna
MW	megawatt
MWh	megawatthodina
OZE	obnovitelné zdroje
PJ	petajoule
TWh	terawatthodina
W/m <sup>2</sup>	watt na metr krychlový

# Úvod

S energií se setkáváme na každém kroku. Dnešní doprava, průmysl a i zemědělství jsou bez energie nemyslitelné.

Neustálý růst světové populace společně s rostoucí spotřebou energie v rozvojových a nových průmyslových zemích jsou příčinou rostoucí spotřeby energie. V období 1960 až 2000 se na světě počet obyvatel zdvojnásobil a spotřeba energie se ztrojnásobila. Od roku 1980 je zaznamenán trend lineárního zvyšování celosvětové spotřeby energie a růstu populace. Podle odhadů se předpokládá, že celosvětová populace do konce roku 2050 stoupne až na 9 miliard, v důsledku toho by mohlo dojít k nárůstu spotřeby energie o 50 %. Při těchto spekulacích se nebere v úvahu nárůst spotřeby energie na obyvatele. Tyto odhady poukazují na skutečnost, že opatření k úsporám energie jsou nesmírně důležitá, abychom dokázali nárůst spotřeby energie alespoň zbrzdit [25].

V práci je řešeno využívání obnovitelných i neobnovitelných zdrojů při výrobě elektrické energie.

## **Cílem předkládané práce je modelování úspor při využití odpadního tepla.**

Teplo při výrobě elektřiny vzniká spalováním fosilních paliv nebo biomasy. V současných velkých tepelných, uhelných či jaderných elektrárnách je při přeměně na elektrickou energii využito cca 32 % vstupu, ve formě paliva. Zbytek se nevyužije a do vzduchu odchází chladicími věžemi. Při využití odpadního tepla lze však dosáhnout celkové účinnosti, která se pohybuje v rozmezí 80 až 90 % [9].

V první kapitole je popsán potenciaální vývoj a délka uhlíkové stopy v České republice. Druhá a třetí kapitola charakterizuje obnovitelné a neobnovitelné zdroje. Čtvrtá kapitola analyzuje, jak se podílí na energii obnovitelné a neobnovitelné zdroje. V páté kapitole je vypočítáno množství odpadního tepla, které je možno ušetřit při výrobě elektrické energie. V šesté kapitole je na výsledky aplikován regresní model, který se snaží zjistit závislost mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií, mezi časem a vyrobenou elektrickou energií. Poslední kapitola analyzuje úspory vybraných paliv.

# 1. Úspory v kontextu udržitelnosti

Spotřeba energie neustále stoupá. Pravděpodobně nejrychlejší růst byl zaznamenán v minulém století, zejména v jeho druhé polovině. Paliva byla velmi levná. Nízká cena paliv vedla k plýtvání energií a i k plýtvání primárními energetickými zdroji, což způsobilo rostoucí zvyšování jejich spotřeby [16]. Typickým příkladem jsou tepelné elektrárny, které dále nevyužívají odpadní teplo.

## 1.1. Přenos tepla

Teplo bylo, je a v 21. století zůstane nejrozšířenější formou užitkové energie. Průmysl zužitkovává v ohřívačích, pecích a reaktorech teplo získávané spalováním paliv, uhlí, koksu, plynu a topného oleje. Ve stále větších provozech se z kotelen do technologického zařízení přenáší v podobě páry (parovody), horké vody (horkovody), nebo horkého vzduchu [1]. Další velkou část tvoří spotřeba tepla v domácnostech.

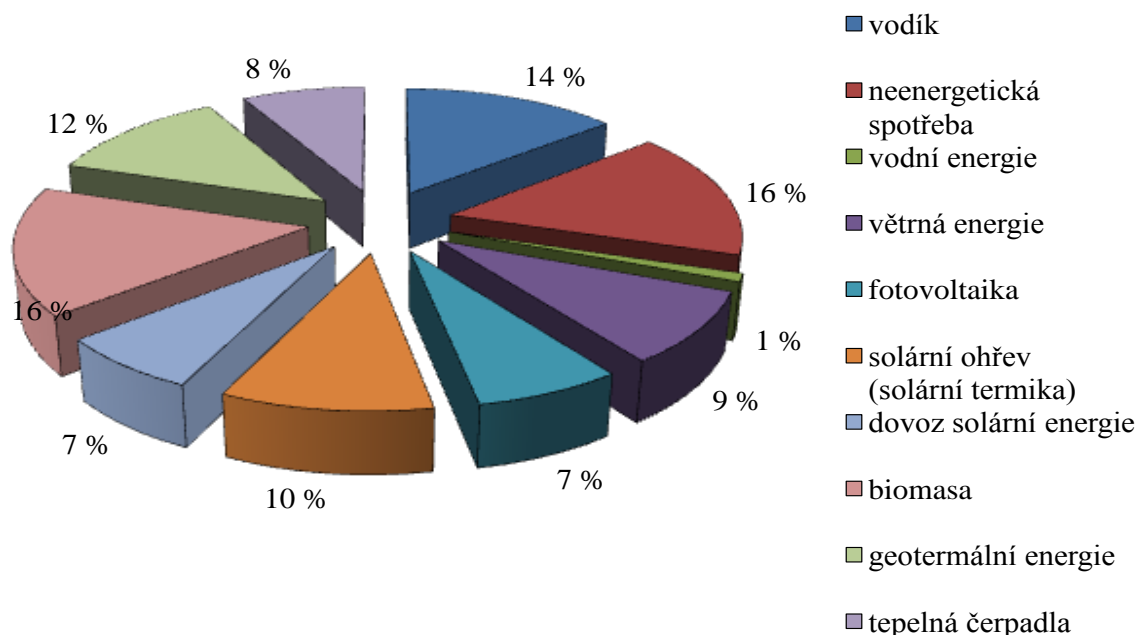
## 1.2. Potencionální vývoj

V roce 2009 byl v České republice podíl obnovitelných zdrojů energie pouze 6,8 %. V Německu v roce 2006 [25] podíl dosahoval 6%. Cílem by bylo využívat 100 % energii z obnovitelných zdrojů.

Plány potenciálních podílů obnovitelných zdrojů energie v roce 2050 v Německu uvádí obrázek 1. Očekává se, že v ČR budou podobné výsledky. Využívání obnovitelných zdrojů může mít podobné charakteristiky jako uhlí či jaderná energetika, kdy při výrobě elektrické energie vzniká zároveň odpadní teplo (např. při využívání biomasy) nebo bez vzniku (např. při využívání vodní, větrné či sluneční energie).

Přírodní procesy přemění část sluneční energie na jiné obnovitelné formy energie [1], jako je vítr, biomasa nebo vodní energie. Kromě těchto forem energie lze ještě využít geotermální energii, energii přílivu a odlivu (v ČR nelze využít), která je vyvolána přitažlivostí Měsíce a Slunce. V čase  $t$ , kratším než je 1 den, dopadne na zemský povrch ze Slunce například víc energie, než jaké bychom dostali spalováním všech zásob ropy, které bychom kdy mohli využít.

Mezi spotřebou energie, ekonomickou úrovní a životní úrovní se uplatňují závislosti, které jsou tradičně předmětem zájmu nejen energetiků a ekonomů, ale i politiků.



Obrázek 1: Potenciální podíly obnovitelných zdrojů energií na spotřebě primární energie v roce 2050

Zdroj: [25]

### 1.3. Uhlíková stopa

Pojem uhlíková stopa je nový termín, který se používá teprve pár let. Uhlíková stopa určuje množství oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů, které jsou vytvářeny každodenními lidskými činnostmi. Měří dopad na životní prostředí a na klimatické změny. Zaměřuje se například na spalování fosilních paliv pro výrobu elektřiny či tepla [29]. Uhlíková stopa se skládá z přímé a nepřímé části. Přímá část je naše bezprostřední činnost. Nepřímá část obsahuje činnosti celého životního cyklu výrobku, které používáme [5].

Pro výpočet uhlíkové stopy je použita internetová kalkulačka [5]. Je zjišťováno vyprodukované množství tun oxidu uhličitého na jednoho obyvatele. Na fosilní paliva je kladen důraz.

Při výpočtu se vychází z těchto dat, které uvádí ČSÚ k 31. 12. 2009:

- rozloha ČR 78 864,84 km<sup>2</sup>,
- počet obyvatel 10 647 542,
- spotřeba elektrické energie 45 447 736 MWh,
- spotřeba černého uhlí 8 646 036 tun,
- spotřeba hnědého uhlí 43 706 162 tun,
- spotřeba zemního plynu 4 913 450 000 m<sup>3</sup>.

Pokud jsou zohledněny jen výše uvedené spotřeby energií, je průměrně dosahováno v ČR těchto hodnot na 1 obyvatele:

- spotřeba elektrické energie 4 268 kWh<sup>1</sup>,
- spotřeba černého uhlí 812 kg,
- spotřeba hnědého uhlí 4 105 tun,
- spotřeba zemního plynu 461,5 m<sup>3</sup>.

Tento výpočet nezahrnuje propan butan, dálkové vytápění, obnovitelné zdroje, dopravu, potraviny a odpady. Jeden obyvateľ ČR vyprodukuje 12,2 tun CO<sub>2</sub> za rok. Dle statistik [29], po zahrnutí těchto veličin, jeden obyvateľ vyprodukuje v ČR 13,1 tun CO<sub>2</sub> a průměrný občan EU 10,6 tun CO<sub>2</sub>. Je patrné, že ČR dosahuje vysoké uhlíkové stopy a to by se mělo určitě v budoucnu změnit. Pokud třídíme odpad, využíváme více obnovitelné zdroje, jezdíme hromadnými prostředky, naše uhlíková stopa se zmenšuje. Doporučuje se činnosti dělat s rozmyslem.

---

<sup>1</sup> Tento výsledek byl získán podílem spotřeby černého uhlí a počtu obyvatel v ČR. Následující spotřeby jsou získány podobným způsobem.

## 1.4. Dílčí shrnutí

V této části bylo poukázáno na to, že každým rokem spotřeba energie roste a dochází k plýtvání primárními zdroji. Typickým příkladem jsou tepelné elektrárny, které dále nevyužívají odpadní teplo.

O primární produkci se jedná např. v uhelných dolech, ropných polích, vodních elektrárnách či při výrobě biopaliva [21].

V ČR průměrný občan vyprodukuje 13,1 tun CO<sub>2</sub> ročně oproti tomu, průměrný občan EU pouze 10,6 tun CO<sub>2</sub>. Český občan rapidně spotřebovává neobnovitelné zdroje. Podíl obnovitelných zdrojů na výrobu je v ČR 6,8 % [29].

V další části jsou analyzovány konkrétní obnovitelné zdroje energie jako větrná, vodní, geotermální, sluneční a energie z biomasy.



## 2. Obnovitelné zdroje

V současné době mají obnovitelné zdroje [1] malý podíl v globální energetické bilanci. Obnovitelné zdroje lidstvo už používá od nepaměti. K tradičním „stále se obnovujícím“ zdrojům řadíme energii vody a větru. Další obnovitelné energetické zdroje se objevily od doby, kdy technika dosáhla vyššího stupně rozvoje. Zdaleka nejsme na konci cesty, jednou určitě získáme takovou energii, která navíc bude šetrná k životnímu prostředí. V praxi ovlivňuje využitelnost obnovitelných zdrojů řada faktorů, z nichž nejpodstatnější jsou faktory ekonomické. Nejdůležitější jsou investiční náklady, cena paliv a energií [27].

Mezi nejlépe využitelné obnovitelné zdroje energie řadíme [1] energii vody, energii větru, energii Slunce, geotermální energii a energii z biomasy.

**Odpadní teplo vzniká jen při využívání geotermální energie a energie z biomasy.** V dílčích podkapitolách 2. 1. – 2. 5. jsou pro úplnost charakterizovány všechny výše vyjmenované obnovitelné zdroje.

### 2.1. Energie vody

Energie, která je vytvořena z vodních zdrojů [1], je šetrná k životnímu prostředí a relativně levná. Vodní turbíny patří k motorům s nejvyšší účinností. V přírodě se vyskytují tři druhy energie vody – mechanická, vnitřní energie tepelného pohybu molekul a chemická. Mechanická energie je dělena na pohybovou, tlakovou a polohovou energii. Vodní elektrárny využívají především polohový energetický potenciál vody. Tato mechanická energie je používána k pohonu vodních kol. Vodní kola jsou dále dělena na lopatková a kolečková. Vnitřní energie je založena na rozdílných teplotách různých vrstev vody a tedy i hustotě vody.

V posledních letech se energie vody podílí na tuzemské výrobě elektřiny cca 3 – 4 % [27]. Produkce energie závisí na počasí, největší se očekává vždy na jaře a nejmenší v srpnu. V ČR funguje asi 1 300 vodních elektráren. Při výstavbě nové nebo obnově zcela zničené malé vodní elektrárny (dále MVE), kdy je potřeba vybudovat celé nové vodní dílo, jsou náklady velmi vysoké a návratnost může být i více než 50 let. Ovšem záleží na individuálním charakteru MVE. Velmi efektivní je instalace turbíny u vodárenských

nádrží, kde je již veškerá infrastruktura k dispozici. Turbína jen nahradí dosavadní škrtkící armaturu, kde se tlak vody snižoval na potřebnou úroveň.

Obrázek 2 mapuje MVE vlastněné společnostmi ČEZ a některé další MVE jiných nezávislých výrobců.



Obrázek 2: Přehled vybraných vodních elektráren v ČR (stav k 31. 12. 2006)

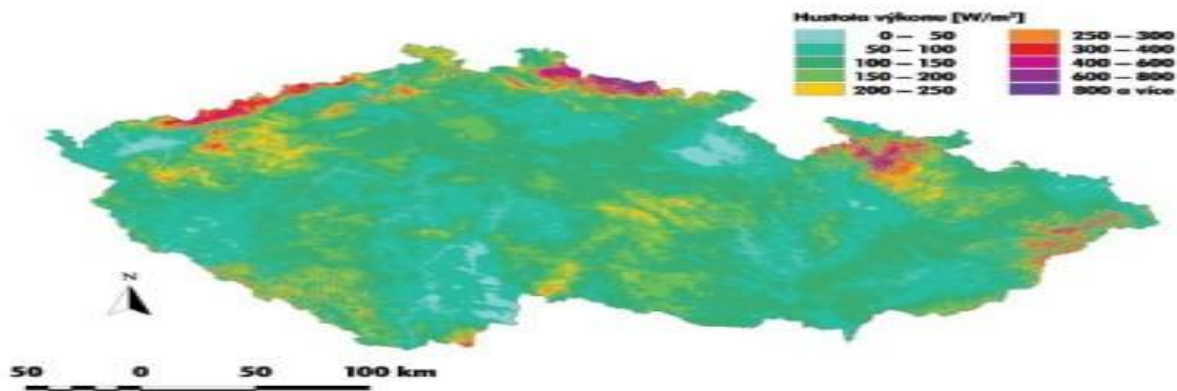
Zdroj: [24]

## 2.2. Energie větru

ČR [22] patří k zemím, kde se energie větru stále ještě příliš nevyužívá. Výhodou větrných elektráren je rychlost výstavby. Větrné elektrárny nepotřebují k provozu žádné palivo a neprodukují při provozu žádné emise.

Mezi nevýhody jsou řazeny náklady na velkou počáteční investici a údržbu, spotřeba kvalitního materiálu na výrobu zařízení, estetické narušení krajiny a značný hluk. Elektrárny se mohou vyskytovat, jak ve vnitrozemí, tak i na pobřeží. Pro ČR připadá v úvahu jen první možnost. Větrné elektrárny obvykle fungují s rychlostí 30 - 50 otáček za minutu [20].

Obrázek 3 zobrazuje prostorové rozložení hustoty výkonu větru na území ČR.



Obrázek 3: Prostorové rozložení hustoty výkonu větru [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] na území ČR ve výšce 40 m n. m.

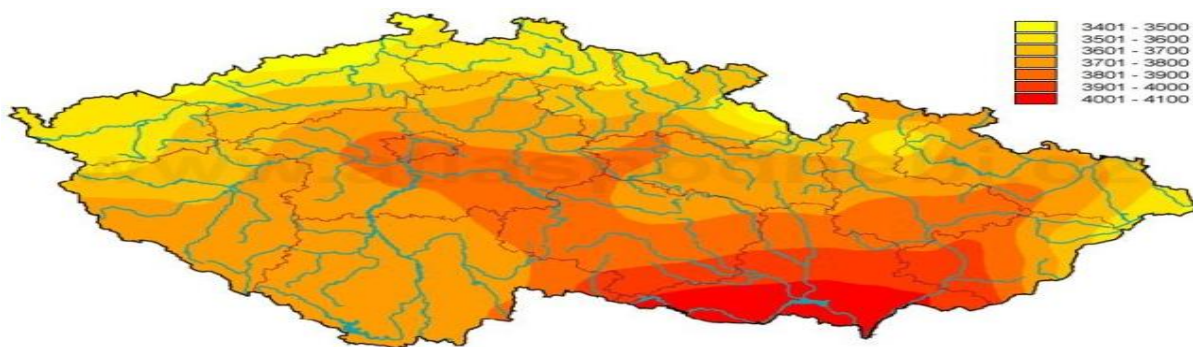
Zdroj: [9]

### 2.3. Energie Slunce

Energii ze Slunce nejvíce využívají termické a fotovoltaické sluneční panely. Termické sluneční panely slouží k výrobě tepelné energie např. pro lokální vytápění vodou či vzduchem, pro ohřev užitkové vody a pro sušení dřeva [1].

Fotovoltaické sluneční panely vyrábí elektrickou energii, která se buď přímo spotřebovává, uchovává v bateriích nebo se mění na střídavou energii a poté se dodává do distribuční sítě [13].

Ostatní produkty založené na přeměně sluneční energie na elektrickou jsou například kalkulačky, zahradní lampy, nabíječky na nejrůznější spotřebiče, jako je mobil nebo notebook [13]. Náklady solární energie klesly za posledních 20 let o 94 – 98 % [1]. Intenzitu slunečního záření v  $\text{kWh}/\text{m}^2$  za rok mapuje obrázek 4.



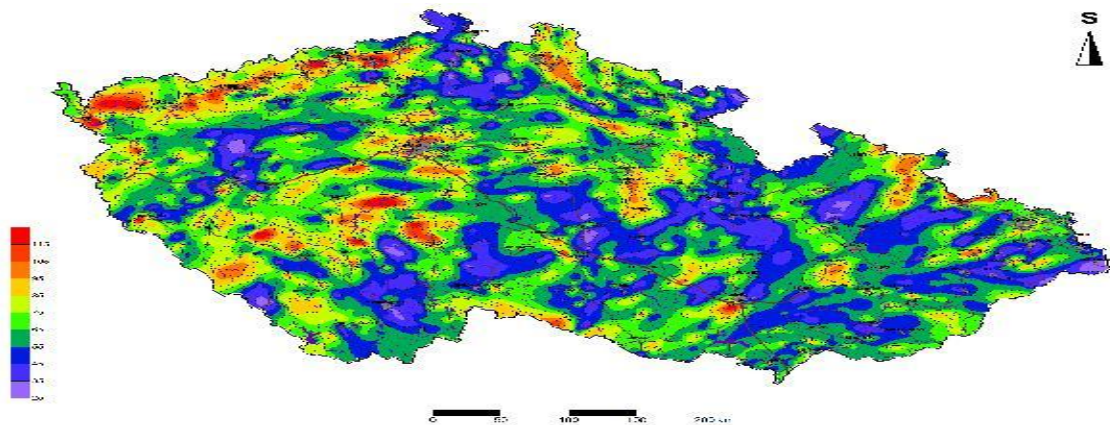
Obrázek 4: Intenzita slunečního záření v  $\text{kWh}/\text{m}^2$  za rok

Zdroj: [9]

## 2.4. Geotermální energie

Geotermální energie [12] je dostupná pouze na některých místech zemského povrchu. Geotermální zdroje [1] dělíme do tří skupin: pole suchých par, pole mokrých par a pole nízkoteplotní. První dvě skupiny jsou zpracovány geotermálními elektrárnami, poslední pro vytápění objektů, bazénů a ve skleníkovém hospodářství, zejména za pomoci tzv. tepelných čerpadel. Geotermální elektrárny [12] nepotřebují ke svému chodu žádné palivo, výstava je zhruba pětikrát dražší než u jaderné elektrárny.

Nejstarším a tradičním využitím geotermální energie jsou prameny teplých lázeňských vod. V současnosti je v ČR využívání geotermální energie teprve v začátcích, plánuje se projekt výstavby první geotermální elektrárny v Litoměřicích. Mapa oblasti využití geotermální energie je k dispozici na obrázku 5.



Obrázek 5: Mapa oblasti využití geotermální energie

Zdroj: [12]

## 2.5. Biomasa

Biomasa je definována [19] jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Buď se cíleně pěstuje, nebo se jedná o odpady ze zemědělské, potravinářské či lesní produkce. Biomasa by nemohla existovat bez sluneční energie.

Biomasa se využívá pro energetické účely. Možností zpracování biomasy pro energetické účely je celá řada [24]. Patří sem spalování, zplynování, zkapalňování, alkoholové kvašení a jiné. Nejčastěji se využívá způsob spalování [3] [31], kdy je nutné nejprve spalovaný

materiál sušit na požadované procento vlhkosti. V praxi nelze biomasu řádně vysušit např. podíl vody v suchém dříví dosahuje 20 %. Obecně přeměnou či zpracováním biomasy lze získat teplo, elektřinu či kapalná paliva (např. pro pohon vozidel atd.)

Mezi nejjednodušší způsoby, jak využít biomasu pro výrobu elektřiny je [23], spalovat ji společně s uhlím v klasických elektrárnách. Pro kotle, které se používají v elektrárnách, by to nemělo představovat žádný zásadní problém. Výhodou je, že lze využít existující zařízení.

Důležitým ukazatelem využitelnosti paliva je jeho výhřevnost, ale i jeho cena. V tabulce jsou zaznamenány některé druhy biomasy, jejich obsah vody a výhřevnost. Jedná se pouze o obvyklé hodnoty.

Tabulka 1: Výhřevnost různých druhů biomasy

<b>Biomasa</b>	<b>Obsah vody (%)</b>	<b>Výhřevnost (MJ/kg)</b>
Listnaté dřevo	15	14,605
Jehličnaté dřevo	15	15,584
Borovice	20	18,400
Vrba	20	16,900
Olše	20	16,700
Habr	20	16,700
Akát	20	16,300
Dub	20	15,900
Jedle	20	15,900
Jasan	20	15,700
Buk	20	15,500
Smrk	20	15,300
Bříza	20	15,000
Modřín	20	15,000
Topol	20	12,900
Dřevní štěpka	30	12,180
Sláma obilovin	10	15,490
Sláma kukuřice	10	14,400
Lněné stonky	10	16,900
Sláma řepky	10	16,000

Zdroj:[9]

Jakým způsobem a v jakých případech budeme biomasu využívat, závisí na mnoha faktorech [23], na druhu a formě biomasy, na lokální dostupnosti biomasy, na nákladech na získání biomasy a na vlivu na životní prostředí. Tabulka 2 uvádí jaký je v České republice dostupný a využívaný potenciál vybraných druhů biomasy v PJ.

Tabulka 2: Dostupný a využívaný potenciál biomasy v ČR

<b>Biomasa</b>	<b>Dostupný potenciál (PJ)</b>	<b>Využívaný potenciál (PJ)</b>
Dřevo	32,80	16,20
Obilní sláma	6,10	0,04
Řepková sláma	9,80	0,20
Bioplyn	7,00	1,00
Bionafta	9,20	2,30
Bioetanol	9,00	0,00
Energetické rostliny	22,50	0,00
Celkem	97,00	19,70

Zdroj:[31]

Rostlinnou biomasu je potřeba přeměnit na vhodnou formu, která by se dala použít ve spalovacích motorech. Nejlépe vhodná biomasa [23] je taková, která se snadno přeměňuje na kapalné palivo. Tyto požadavky splňuje obilí, brambory a zbytky po výrobě cukru, z těchto surovin se vyrobí etanol.

Dále je možno z biomasy získat metanol a ETBE [23]. Opět se jedná o látky, které zvyšují oktanové číslo paliva.

Z rostlinných olejů má největší význam řepkový olej ve střední Evropě a kokosový olej v Malajsií. Mezi další oleje patří olej ze sójových bobů, sezamový, bavlníkový, hořčičný a slunečnicový [4]. Důležité jsou jejich hektarové výnosy a náklady na sklizeň a zpracování. Tabulka 3 udává výnosnost rostliny v l/ha.

Tabulka 3: Výnosy z pěstování rostlin ve světě

<b>Rostlina</b>	<b>Výnos (l/ha)</b>
Sojové boby	375
Řepka	1 000
Hořčice	1 300
Kokosová palma	5 800
Řasy	95 000

Zdroj:[23]

## **2.6. Dílčí shrnutí**

V této kapitole bylo vysvětleno, co patří mezi obnovitelné zdroje. Mezi obnovitelné zdroje je často řazena energie vody, větru, Slunce, geotermální energie a biomasa (někdy označována jako zelená energie). Nejvíce se na území ČR využívá energie vody. Nejvýznamnější řeky jsou Vltava a Labe. Na těchto řekách společnost ČEZ vybudovala své dominantní vodní elektrárny.

Odpadní teplo využívá pouze geotermální energie a energie z biomasy, možné úspory jsou vypočítány v kapitole 5 a jejich dílčích částech. V ČR doposud není postavena žádná geotermální elektrárna, pouze vznikají návrhy. Elektrárny spalující biomasu se nachází například v Tisové, Poříčí a Hodoníně. Opět se jedná o elektrárny vlastněné společností ČEZ.

Příští kapitola analyzuje neobnovitelné zdroje.



### **3. Neobnovitelné zdroje**

Za neobnovitelný zdroj energie je obvykle považován takový zdroj energie, jehož vyčerpání je očekáváno v horizontu několika desítek či stovek let. Obnovení zdroje trvá ovšem mnohem déle. Nejčastěji uváděné neobnovitelné zdroje jsou uhlí, ropa a zemní plyn. Pod pojmy uhlí, ropa a zemní plyn si představíme rozložené produkty rostlin starých miliony let [18].

#### **3.1. Černé a hnědé uhlí**

Ložiska uhlí jsou ve světě rozmístěna celkem rovnoměrně a prozatím jsou relativně bohatá. Většina našeho uhlí je zbytkem suchozemské vegetace, která se zde nacházela před 300 až 400 miliony lety a byla rozložena v rozsáhlých mokřinách. Nejprve dochází k přeměně na rašelinu, po jejím ztvrdnutí a dalších procesech na uhlí [18] [2].

Uhlí je ovšem těžké a neskladné a v důsledku toho i nákladné na přepravu. Většina uhlí se spotřebovává v místě jeho těžby. Vyváží se pouze 10 %. Globálně je i zdrojem vysokého znečištění. Odhady mluví zhruba o 10 000 mrtvých lidí, kteří zemřeli v důsledku znečištění či při dobývání v dolech. Uhlí uvolňuje nejvíce oxidu uhličitého [18].

Toto palivo umožnilo největší rozmach průmyslového rozvoje v období 1850 - 1950. Ve 20. století bylo rapidně nahrazováno ropou, z důvodu její snadnější přepravy, skladování a použitelnosti. Uhlí je stále důležité při výrobě elektřiny, a to především v USA, Číně a střední Evropě [18] [2].

#### **3.2. Ropa**

Ropa má hnědou až nazelenalou barvu. Jedná se o hořlavou kapalinu, která je tvořena směsí uhlovodíků, nachází se ve svrchních vrstvách zemské kůry [11].

Ropa sehrála mimořádnou roli v ekonomice a historii moderní doby. Žádná jiná surovina se tak významně nepodílela na průmyslovém rozvoji [33].

Ropa se využívá jako palivo v dopravě, dále patří mezi významné suroviny pro výrobu plastů, hnojiv a jiných chemických výrobků. Jisté malé množství ropných produktů má využití i při spalování s cílem vyrobit elektrickou energii a teplo [15].

První zmínky těžby ropy [30] pochází z 2. poloviny 19. stol. Největší ložiska jsou evidovány v Saudské Arábii, Rusku a USA. Severní moře je nejvýznamnější oblast těžby ropy Evropy [30]. V ČR se ložiska nachází na jihu Moravy, konkrétně v karpatské předhlubni, vídeňské pánvi a na svazích Českého masivu [15]. Celosvětově se jedná o zanedbatelný podíl.

### **3.3. Zemní plyn**

Zemní plyn [32] je čistým a levným energetickým zdrojem, vyžaduje rozsáhlý potrubní systém distribuce. Zemní plyn se nejčastěji spaluje, a tím se získává energie.

Zemní plyn se využívá i pro výrobu tepla. V mnoha domácnostech se používá na vaření či ohřev teplé vody. V poslední době se zavádí do oblasti dopravy.

Od druhé světové války zažil plyn nejrychlejší růst ze všech fosilních paliv. V roce 1950 představoval plyn cca 10 % globální spotřeby energii, dnes hovoříme již o 23 %. V ČR je těženo 41 ložisek zemního plynu [32]. V roce 2008 byla celková roční těžba 168 milionů m<sup>3</sup> [15].

### **3.4. Dílčí shrnutí**

V této kapitole byly analyzovány tři hlavní neobnovitelné zdroje. Jednalo se o uhlí, ropu a zemní plyn. U těchto surovin bylo popsáno využití i výskyt.

Mnozí upozorňují na problém, že je spotřebováváme mnoho zdrojů, které se tvořily miliony let. Poukazují na to, že bychom měli zdroje využívat udržitelně, aby zbyly i pro budoucí generace. Podstata nespočívá v tom, že bychom budoucím generacím zanechali všechny jednotlivé zdroje, je to nemyslitelné, ale měli bychom lidem předat tolik znalostí a kapitálu, aby jejich život byl stejně kvalitní jako náš.

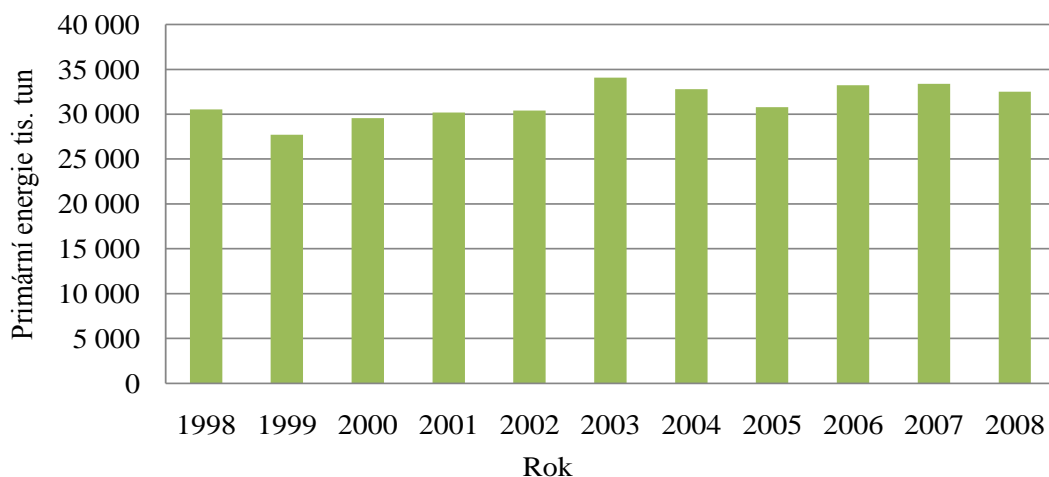
Je překvapivé, že stále posloucháme zprávy, podle níž mají být v blízké době vyčerpané energetické zdroje. Čísla ovšem ukazují, že je to nepravděpodobné. Historie ukazuje, že se stále více daří fosilní zdroje nalézat, těžit a využívat. Dokonce tento proces předstihuje růst spotřeby.

Další část je věnována grafickému zobrazení spotřeby energie.

## 4. Spotřeba energie

Jak již bylo několikrát zmíněno, spotřeba energie stále roste. V dalších podkapitolách bude pomocí grafických prostředků zkoumáno, jaké množství obnovitelných i neobnovitelných zdrojů se spotřebovává na výrobu vybraných druhů energie. Budou zde použity dva pojmy, a to brutto a netto elektrická energie. Brutto spotřeba je vypočtena jako brutto výroba minus saldo zahraničních výměn. Netto spotřeba je určena jako brutto spotřeba minus vlastní spotřeba na výrobu elektřiny minus spotřeba na přečerpávání v přečerpávacích vodních elektrárnách minus ztráty v sítích [10].

Na obrázku 6 je zaznamenána celková produkce primární energie v ČR. Pod pojmem primární produkce je jakýkoliv druh těžby z přírodních zdrojů. O primární produkci se jedná např. v uhelných dolech, ropných polích, vodních elektrárnách či při výrobě biopaliva. Přeměna energie z jedné formy do druhé, jako je výroba elektřiny či tepla v tepelných elektrárnách či výroba koku v koksárenských pecích, nejsou primární produkcí. Primární energetické zdroje jsou jedním ze základních ukazatelů energetické bilance. Hodnoty jsou v tisících tunách ropného ekvivalentu [21].

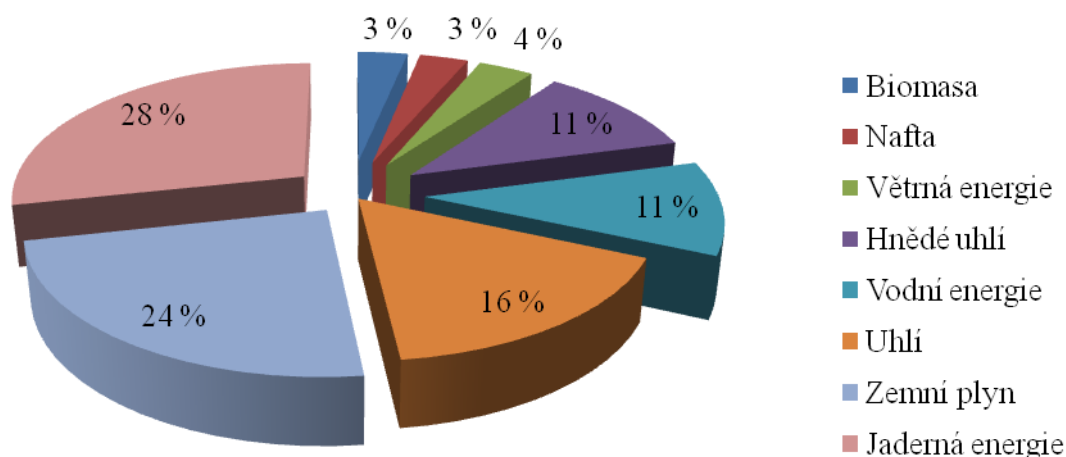


Obrázek 6: Celková produkce primární energie v ČR

Zdroj:[6]

Obrázek 7 udává obnovitelné i neobnovitelné zdroje, které se používají v elektrárnách v EU. Je patrné, že nejvíce se využívá jaderná energie, uhlí a zemní plyn. Tyto tři položky dosahují společně 79 %, což je podstatná část. Neobnovitelné zdroje jsou ve výši 82 % a pouze 18 % obnovitelné zdroje. Jak již bylo několikrát zmíněno je potřeba se zaměřit i na ekonomickou část. Mnoho odborníků doporučuje využívat obnovitelné zdroje, ale neobnovitelné jsou levnější. Domácnosti i firmy nejčastěji využívají neobnovitelné zdroje.

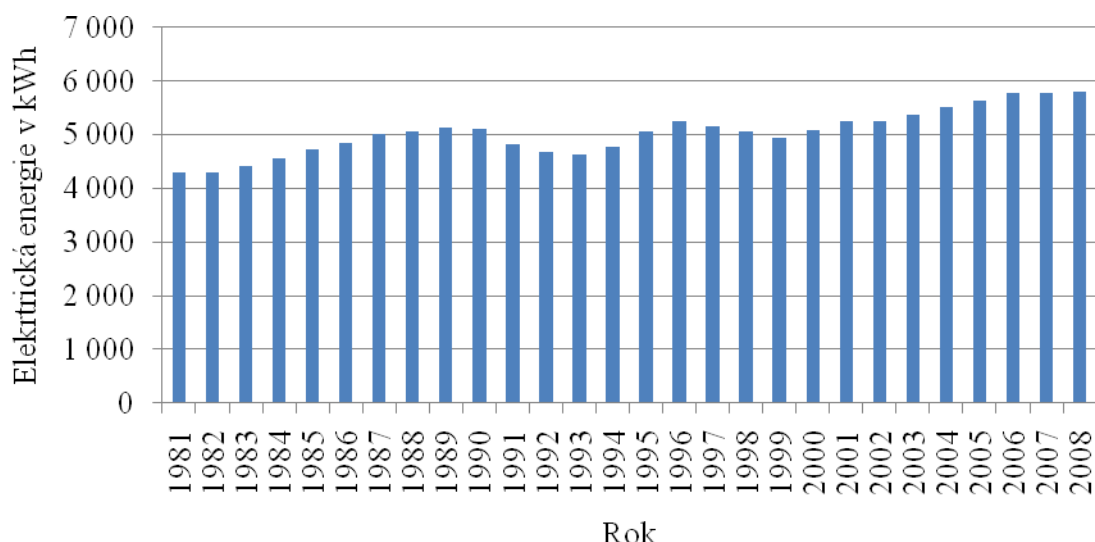
Evropský parlament a Rada EU vydal Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1233/2010 ze dne 15. prosince 2010, kterým se mění nařízení (ES) č. 663/2009 o zavedení programu na podporu hospodářského oživení prostřednictvím finanční pomoci Společenství pro projekty v oblasti energetiky, kde podporuje využívání obnovitelných zdrojů, kde podporuje obnovitelné zdroje [10].



Obrázek 7: Zdroje používané v elektrárnách v EU za rok 2008

Zdroj:[10]

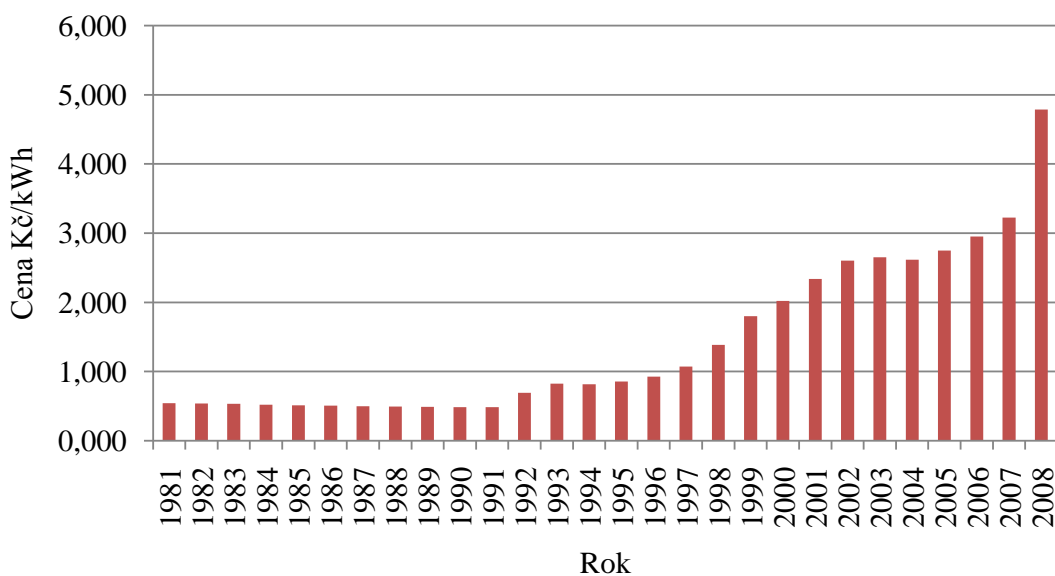
Další obrázek uvádí spotřebu elektrické energie na jednoho obyvatele v ČR od roku 1981 do roku 2008. Graf je rozdělen do tří částí (1981 - 1989, 1990 - 1996, 1997 - 2008). V každé části je patrný vrchol spotřeby. Ve sledovaném období bylo vrcholu dosaženo v letech 1989 a 1996. Tyto dva roky jsou důležitými mezníky ve vývoji české ekonomiky. V roce 1989 dochází ke změně politického uspořádání. V roce 1996 se ČR dostává do fáze recese. V letech 2006 – 2008 spotřeba elektrické energie na 1 obyvatele stagnuje. Spotřeba se pohybuje kolem 5 792 kWh za rok. Zde je možné sledovat i trend odpadního tepla. Konkrétní množství je v tabulce 17, která je uvedena v příloze.



Obrázek 8: Spotřeba elektrické energie na jednoho obyvatele v ČR

Zdroj: [14]

Na dalším obrázku je zachycen vývoj cen elektrické energie v ČR za stejné sledované období. Cena je určena za 1 kWh. V roce 2008 nastal rapidní růst ceny elektrické energie. V tomto roce došlo k rekordním cenám. Cena elektrické energie je určena dvěma složkami, a to regulovanou a neregulovanou částí. Mezi regulovanou část patří náklady na dopravu, skladování a distribuce energie. Do neregulované části je řazena velkoobchodní cena elektřiny jakožto komodita na trhu [14]. Regulovanou část spravuje Český regulační úřad.



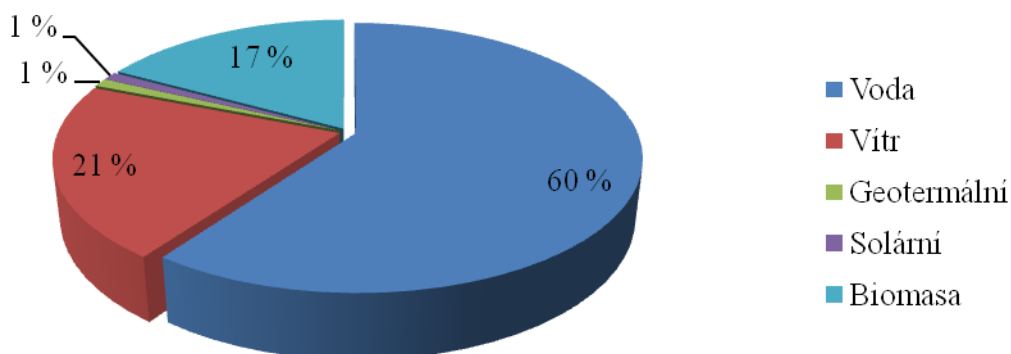
Obrázek 9: Vývoj průměrné ceny za elektrickou energii

Zdroj: [14]

V další části budou graficky znázorněny podíly obnovitelných i neobnovitelných zdrojů v ČR.

#### 4.1. Podíl obnovitelných zdrojů

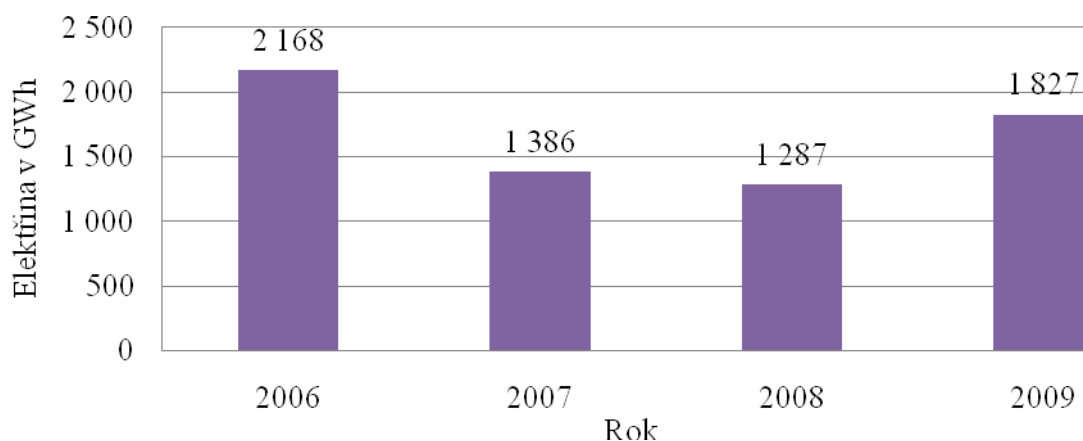
V roce 2008 se v Evropské unii z obnovitelných zdrojů nejvíce využívala energie vyrobená ve vodních elektrárnách, a to 60 %. Významně se podílí i zdroj větru 21 % a biomasy 17 %. V obecném povědomí je i využívání solární energie, přičemž lze díky velkému množství solárních elektráren předpokládat její značný podíl na celkové bilanci. Tento podíl se však pohybuje pouze kolem 1 %. Stejného podílu dosahuje i geotermální energie. Tyto údaje znázorňuje následující obrázek.



Obrázek 10: Využití obnovitelných zdrojů v EU za rok 2008

*Zdroj:[6]*

Na obrázku 11 jsou uvedeny počty vodních elektráren vlastněné společností ČEZ a.s. v období 2006-2009. V roce 2006 můžeme vidět, že došlo k nárůstu dodávky vyrobené elektřiny z vodních elektráren, je to způsobeno jarními povodněmi a hojnými srážkami. Díky období sucha v roce 2007 poklesla dodávka elektřiny. Mezi největší české vodní elektrárny patří Orlický, který má instalovaný výkon 364 MW, Slapy s instalovaným výkonem 144 MW a Lipno s instalovaným výkonem 120 MW. V roce 2010 [7] MVE vlastněné ČEZ obnovitelné zdroje, vyrobily víc než 265 milionů kWh elektřiny. Nejvyšší dodávky vykázala vodní elektrárna Střekov na řece Labe a to 97,3 milionů kWh. Dále vodní elektrárna Vydra 27,4 milionů kWh, Prácheň na řece Chrudimce s dodávkou 20,8 milionů kWh. Podle aktuálních tiskových zpráv vodní elektrárny ČEZ v roce 2010 vyrobily elektřinu pro 660 tisíc domácností, což ušetřilo více než 2 miliony tun uhlí.



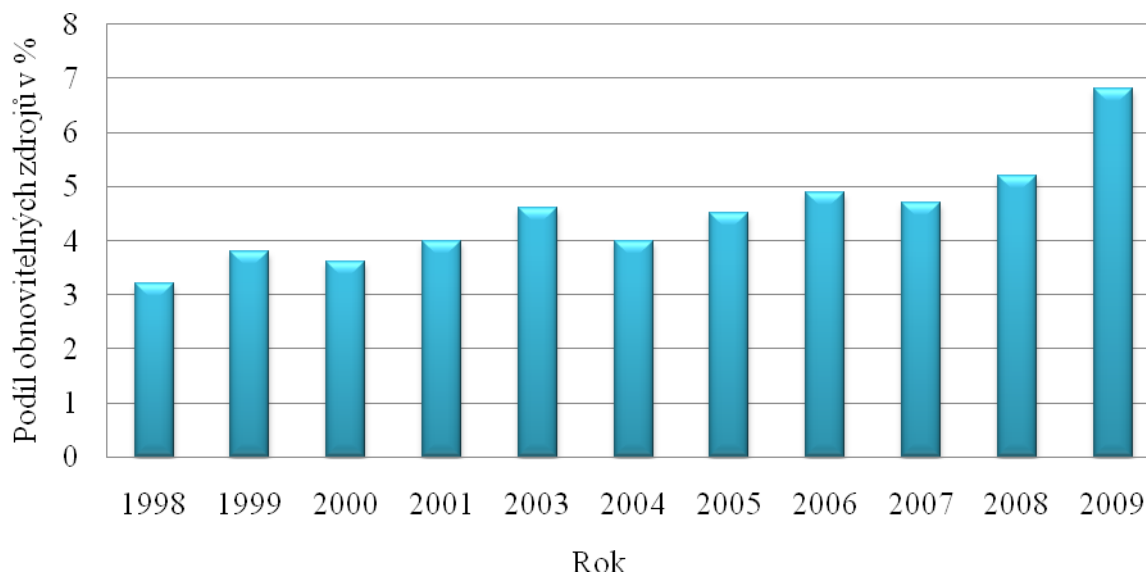
Obrázek 11: Výroba elektřiny v GWh z vodních elektráren vlastněné společnosti ČEZ

*Zdroj: [10]*

Celková výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů v roce 2008 dosáhla 3 740 GWh [14]. Hrubá spotřeba elektřiny v České republice v tomto roce byla 72 050 GWh. Podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny činil 5,19 %. V roce 2009 dosáhl podíl elektřiny z obnovitelných zdrojů 6,8 % z konečné spotřeby elektřiny v České republice. Česká republika se v přístupové smlouvě zavázala ke splnění 8 % podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie na hrubé domácí spotřebě v ČR v roce 2010. Cílem je splnit závazný ukazatel podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie v ČR ve výši 13 % v roce 2020, což je závazek vyplývající z členství ČR v EU [28].

Tento ukazatel je vypočítán jako poměr mezi elektřinou vyrobenou z obnovitelných zdrojů energie a hrubé národní spotřeby elektřiny pro daný kalendářní rok. Elektřina vyrobená z obnovitelných zdrojů energie se skládá z výroby elektrické energie z vodních elektráren (s výjimkou čerpání), větrné, sluneční, geotermální a elektřiny z biomasy/odpadů [10]. Podíl elektřiny, která je vyrobená z obnovitelných zdrojů v České republice uvádí obrázek 12.





Obrázek 12: Podíl elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů v ČR

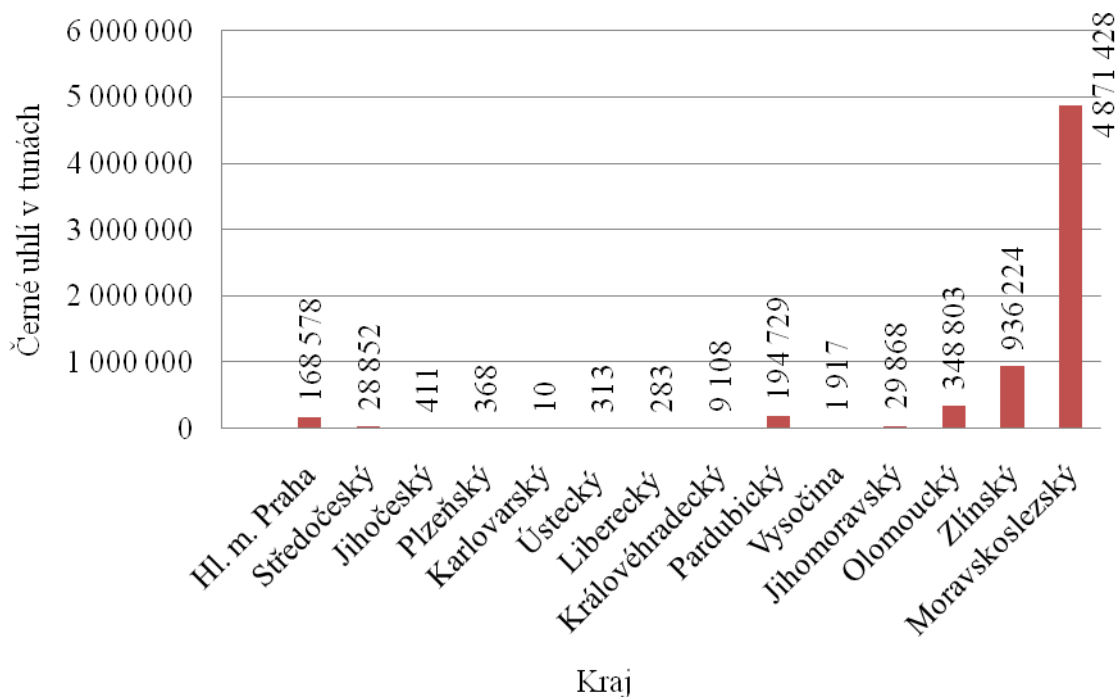
*Zdroj: [10]*

Nyní byly charakterizovány obnovitelné zdroje. Dominantní složku ve spotřebě energií představují zdroje neobnovitelné, kterým je věnována následující kapitola.

## 4.2. Podíl neobnovitelných zdrojů

Od roku 2000 došlo ke snížení těžby černého uhlí o 3,9 milionu tun. V roce 2009 bylo vytěženo 11 milionů tun černého uhlí. V tomto roce bylo spotřebováno 6,8 milionu tun černého uhlí. V roce 2008 je těženo 8 ložisek, největší z nich je hornoslezská pánev, často označována jako ostravsko-karvinský revír či ostravsko-karvinská uhelná pánev.

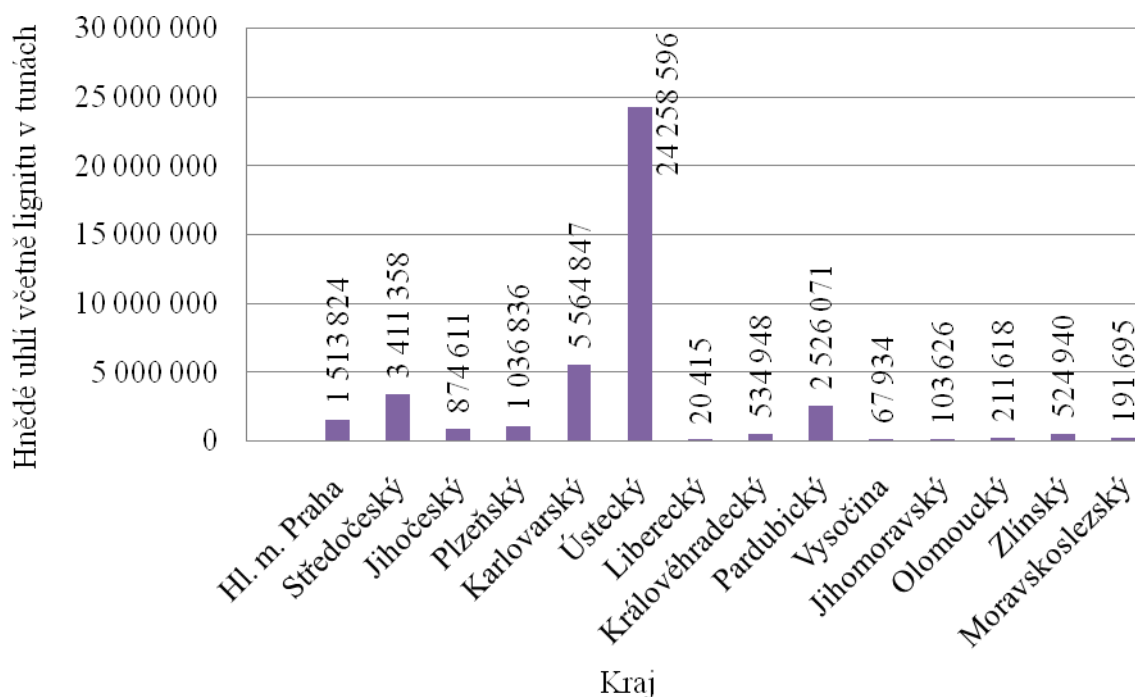
Černé uhlí se používá dle svých chemicko-technologických vlastností pro výrobu koksu či výrobu elektrické energie. Dále je možné černé uhlí používat v petrochemickém průmyslu. Obrázek 13 zobrazuje spotřebu černého uhlí podle místa spotřeby. Je zřejmé, že v Moravskoslezském kraji je uskutečňovaná nejvyšší spotřeba černého uhlí [15].



Obrázek 13: Spotřeba černého uhlí v tunách za rok 2009 podle místa spotřeby

Zdroj: [6]

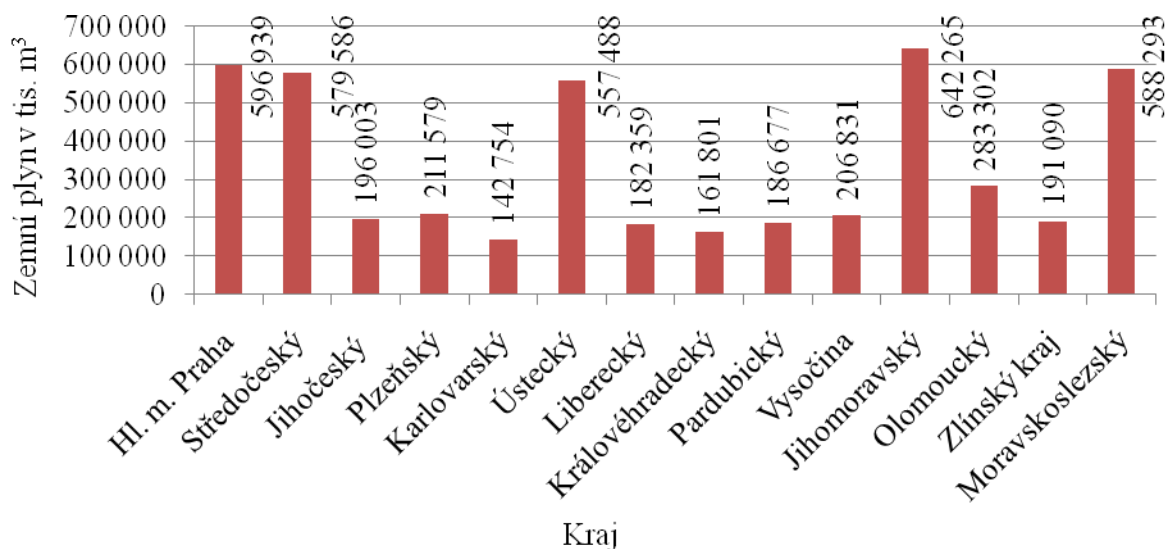
V roce 2000 se na území ČR vytěžilo celkem 50,3 milionu tun hnědého uhlí včetně lignitu. O devět let později se vytěžilo cca 46 milionu tun. Následující obrázek uvádí pouze těžbu 41 milionu tun. Nejvíce hnědého uhlí dle údajů z roku 2008 se těží v severočeské pánvi. Například v Pardubickém kraji se nachází 2 velké parní elektrárny, Chvaletice a Opatovice nad Labem, které spalují hnědé uhlí. Z posledních údajů za rok 2008 vyplývá, že výše vytěženého lignitu byla zhruba 0,4 milionu tun. V září 2009 se společnost Lignit Hodonín, vlastníci poslední lignitový důl, dostala do insolvence. O úpadku bylo rozhodnuto soudem 29. 3. 2010. V roce 2010 byla těžba lignitu po 130 letech zastavena [15] [8] [26].



Obrázek 14: Spotřeba hnědého uhlí včetně lignitu za rok 2009 podle místa spotřeby

Zdroj: [6]

Další obrázek uvádí spotřebu zemního plynu v tisících m<sup>3</sup> podle místa spotřeby. Nejvyšší spotřeba byla v roce 2009 v Jihomoravském kraji. Jak již bylo uvedeno, ložiska zemního plynu se nachází v tomto kraji. Mezi místa těžby patří například Břeclav, Hrušky, Dolní Bojanovice a jiná.



Obrázek 15: Spotřeba zemního plynu za rok 2009 podle místa spotřeby

Zdroj: [6]

### **4.3. Dílčí shrnutí**

Tato kapitola byla zaměřena na grafické zobrazení obnovitelných a neobnovitelných zdrojů. Bylo zde poukázáno na to, že obnovitelné zdroje se stále více zapojují do výroby elektrické energie. Nejvíce se při výrobě využívá jaderná energie, uhlí a zemní plyn.

Z obnovitelných zdrojů v EU se nejvíce využívala z 60 % voda, z 21 % vítr a 17 % biomasa. V roce 2008 bylo vyrobeno v ČR z obnovitelných zdrojů 3 740 GWh, což je 5,19 % z celkové vyrobené elektrické energie. Do roku 2020 by měl být celkový podíl vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů ve výši 13 %.

Evropský parlament a Rada EU vydalo nařízení, kterým podporuje využívání obnovitelných zdrojů.

Další část je samostatně věnovaná spotřebě elektrické energie na území ČR a modelování úspor.

## 5. Odpadní teplo

Výroba elektrické energie dosáhla v roce 2009 v České republice celkem 82 250 GWh (brutto), což je 82 250 000 MWh (brutto), z toho parní elektrárny 58,9 %, jaderné elektrárny 33,1 %, paroplynové a spalovací elektrárny 3,9 % a vodní elektrárny 3,6 %. V roce 2009 došlo k poklesu výroby elektřiny o 1,5 % než v předchozím roce. V tomto roce byla tuzemská spotřeba elektřiny (brutto) 68 606,2 GWh. Následující tabulka uvádí množství energie, které bylo vyrobeno ve všech elektrárnách v ČR. Tabulka nezahrnuje podíly malých větrných, solárních, geotermálních, vodních elektráren a jiných alternativních elektráren.

Tabulka 4: Množství energie vyrobené v elektrárnách

Rok	Parní elektrárny (%)	Jaderné elektrárny (%)	Paroplynové a spalovací el. (%)	Výroba brutto (GWh)
2001	73,8	19,8	3,1	74 647,1
2002	68,6	24,5	3,1	76 347,9
2003	63,7	31,1	3,0	83 226,6
2004	62,6	31,2	3,1	84 333,0
2005	63,1	29,9	3,2	82 578,5
2006	62,1	30,9	2,9	84 360,9
2007	64,3	29,7	2,8	88 198,3
2008	61,3	31,8	3,7	83 518,0
2009	58,9	33,1	3,9	82 250,0
2010	58,2	32,6	4,2	85 910,1

Zdroj: [14]

Výroba elektrické energie v parních elektrárnách vzniká [14]:

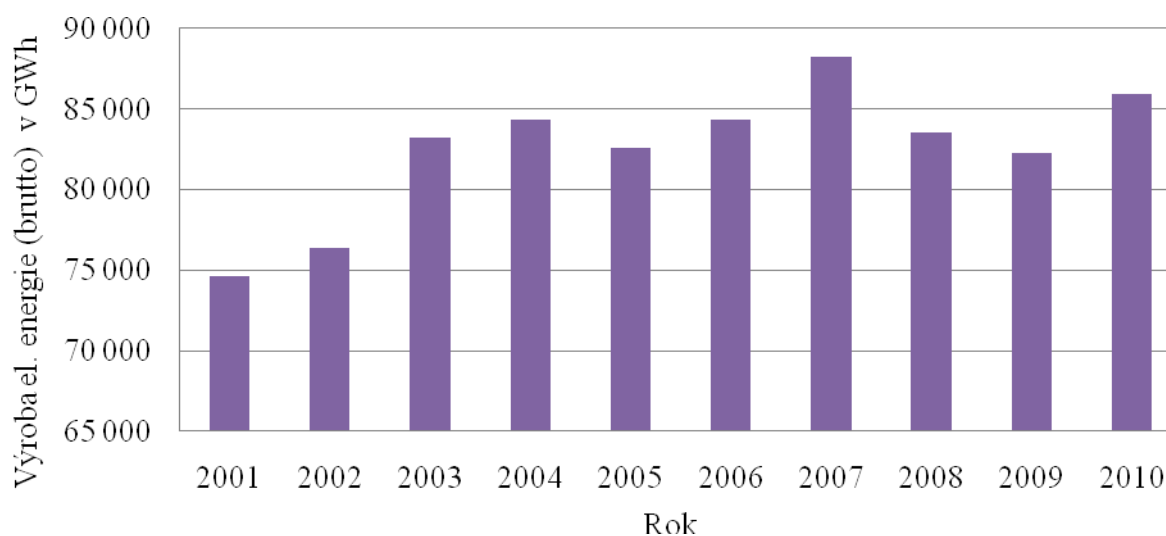
- spalováním černého uhlí,
- spalováním hnědého uhlí,
- spalováním biomasy,
- spalováním zemního plynu,
- spalováním ostatních plynů,
- ostatní.

Výroba elektrické energie v paroplynové a spalovacích elektrárnách vzniká [14]:

- spalováním biomasy,
- spalováním olejů,
- spalováním zemního plynu,
- spalováním bioplynu,
- spalováním ostatních plynů,
- ostatní.

Nejvíce elektrické energie pochází z parních elektráren, konkrétně ze spalování hnědého uhlí. V roce 2009 byl podíl spalování hnědého uhlí 49 %.

V roce 2007 došlo k nárůstu výroby elektrické energie, je to způsobeno vyšší poptávkou velkoodběratelů. Pro lepší názornost je výroba elektrické energie zobrazena na obrázku 16.



Obrázek 16: Vyrobená elektřina (brutto) v letech 2001 - 2010

Zdroj: [14]

## 5.1. Úspora při využití odpadního tepla

Celkový možný maximální výkon elektráren se skládá přibližně z 35 % vyrobené elektřiny, 55 % odpadního tepla a 10 % ztrát. Cílem je vypočítat množství vyprodukovaného odpadního tepla v kWh v daném roce při výrobě elektrické energie, dále označováno jako

proměnná  $y_i$ . Toho je docíleno tak, že je spočítáno množství elektrické energie, která je vyrobena v parních, jaderných, paroplynových a spalovacích elektrárnách. Proměnná  $x_i$  představuje právě toto množství. Proměnná  $y_i$  je množství odpadního tepla. Proměnná  $z_i$  určuje množství ztrát v příslušném roce. Poslední použitá proměnná  $m_i$  označuje možný maximální výkon elektráren. Postup je charakterizován ve čtyřech krocích.

V prvním kroku je určen celkový podíl parní, jaderné, paroplynové a spalovací elektrárny v příslušném roce. Tento podíl je vynásoben celkovou výrobou elektřiny v příslušném roce. Jedná se o 35 %. V druhém kroku je vypočítáno množství odpadního tepla v příslušném roce. Třetí krok udává ztráty. Čtvrtý krok odhaduje možný maximální výkon elektráren.

Vzorce:

$$x_i = \left( \frac{\text{parní el. v roce } i + \text{jaderné el. v roce } i + \text{paroplynové a spalovací el. v roce } i}{100} \right) * \text{výroba el. energie v roce } i \quad (5.1)$$

$$y_i = \frac{55}{35} * x_i \quad (5.2)$$

neboli

$$y_i = \frac{55}{35} * \left( \frac{\text{parní el. v roce } i + \text{jaderné el. v roce } i + \text{paroplynové a spalovací el. v roce } i}{100} \right) * \text{výroba el. energie v roce } i$$

$$z_i = \frac{10}{35} * x_i \quad (5.3)$$

neboli

$$z_i = \frac{10}{35} * \left( \frac{\text{parní el. v roce } i + \text{jaderné el. v roce } i + \text{paroplynové a spalovací el. v roce } i}{100} \right) * \text{výroba el. energie v roce } i$$

$$m_i = x_i + y_i + z_i \quad (5.4)$$

Konkrétní množství odpadního tepla za rok 2010, je vypočítáno:

$$x_{2010} = \left( \frac{\text{parní el. v roce 2010} + \text{jaderné el. v roce 2010} + \text{paroplynové a spalovací el. v roce 2010}}{100} \right) * \text{výroba el. energie v roce 2010}$$

$$x_{2010} = \frac{58,2 + 32,6 + 4,2}{100} * 85\,910,1$$

$$x_{2010} = 0,95 * 85\,910,1$$

$$x_{2010} = 81\,614,595 \text{ GWh}$$

$$x_{2010} = 81\,614,595 \text{ MWh}$$

V roce 2010 bylo vyrobeno 81 614 595 MWh elektrické energie. Jedná se pouze o množství, které bylo vyrobeno v parních, jaderných, paroplynových a spalovacích elektrárnách. Tyto elektrárny pracují s účinností 35 %.

$$y_{2010} = \frac{55}{35} * x_{2010}$$

$$y_{2010} = \frac{55}{35} * 81\,614,595$$

$$y_{2010} = 128\,251,506,4 \text{ MWh}$$

V roce 2010 bylo vyprodukováno 128 251 506,4 MWh odpadního tepla v parních, jaderných, paroplynových a spalovacích elektrárnách. Toto teplo by se mohlo nějakým způsobem dále využít.

$$z_{2010} = \frac{10}{35} * x_{2010}$$

$$z_{2010} = \frac{10}{35} * 81\,614,595$$

$$z_{2010} = 23\,318,455,7 \text{ MWh}$$



V roce 2010 bylo množství ztrát 23 318 455,7 MWh, které vzniklo v parních, jaderných, paroplynových a spalovacích elektrárnách.

$$m_i = x_i + y_i + z_i$$

$$m_{2010} = 81\,614\,595 + 128\,251\,506,4 + 23\,318\,455,71$$

$$m_{2010} = 233\,184\,557,1 \text{ MWh}$$

Celkový odhadovaný možný maximální výkon elektráren by mohl v parních, jaderných, paroplynových a spalovacích elektrárnách dosáhnout 233 184 557,1 MWh.

Následující tabulka udává již konkrétní výši odpadního tepla v příslušném roce výroby elektřiny. Výpočty jsou provedeny podle vysvětleného vzorce. Údaje jsou zaokrouhleny na jedno desetinné místo.

Tabulka 5: Odpadní teplo při výrobě elektrické energie za období 2001 - 2010

Rok	Výroba brutto (MWh)	$x_i$	$y_i$	$z_i$	$m_i$
2001	74 647 100	72 183 745,7	113 431 600,4	20 623 927,3	206 239 273,4
2002	76 347 900	73 446 679,8	115 416 211,1	20 984 765,7	209 847 656,6
2003	83 226 600	81 395 614,8	127 907 394,7	23 255 889,9	232 558 899,4
2004	84 333 000	81 718 677,0	128 415 063,9	23 348 193,4	233 481 934,3
2005	82 578 500	79 440 517,0	124 835 098,1	22 697 290,6	226 972 905,7
2006	84 360 900	80 902 103,1	127 131 876,3	23 114 886,6	231 148 866,0
2007	88 198 300	85 375 954,4	134 162 214,1	24 393 129,8	243 931 298,3
2008	83 518 000	80 845 424,0	127 042 809,1	23 098 692,6	230 986 925,7
2009	82 250 000	78 877 750,0	123 950 750,0	22 536 500,0	225 365 000,0
2010	85 910 100	81 614 595,0	128 251 506,4	23 318 455,7	233 184 557,1

*Zdroj: vlastní*

V další tabulce je spočítáno množství úspor v tunách při využití specifického druhu biomasy. Proměnná  $q_i$  představuje množství úspor specifického druhu biomasy v příslušném roce. Proměnná  $v_j$  označuje výhřevnost specifického druhu biomasy v kWh/kg.

Vzorec:

$$q_i = \frac{y_i}{v_j} \quad (5.5)$$

Např. úspora listnatého dřeva se vypočítá:

$$q_i = \frac{y_{2010}}{v_{\text{listnaté dřevo}}}$$

$$q_i = \frac{128\,251\,506,4}{4,057}$$

$$q_i = 31\,612\,399\,901,4 \text{ kg}$$

Celkem by se mohlo ušetřit 31 612 399 901,4 kg listnatého dřeva.

**Vždy je možno se rozhodnout jen pro jednu variantu, která je zvolena.**

V tabulce 6 jsou dopočítány zbylé vybrané druhy biomasy. U prvních dvou položek, listnaté a jehličnaté dřevo, je výhřevnost zprůměrovaná. Při využívání veškerého odpadního tepla by největších úspor vztažených na hmotnost paliva bylo dosaženo při využívání dřevní štěpky a topolu, je to způsobeno kvůli jejich nízké výhřevnosti.

Tabulka 6: Úspora biomasy při využití odpadního tepla v roce 2010

<b>Biomasa</b>	<b>Výhřevnost (kWh/kg)</b>	<b>Úspora (kg)</b>
Listnaté dřevo	4,057	31 612 399 901,4
Jehličnaté dřevo	4,329	29 626 127 604,5
Borovice	5,111	25 093 231 539,8
Vrba	4,694	27 322 434 256,5
Olše	4,639	27 646 369 131,3
Habr	4,639	27 646 369 131,3
Akát	4,528	28 324 095 936,4
Dub	4,417	29 035 885 533,2
Jedle	4,417	29 035 885 533,2
Jasan	4,361	29 408 737 995,9
Buk	4,306	29 784 372 131,9
Smrk	4,25	30 176 825 035,3
Bříza	4,167	30 777 899 304,1
Modřín	4,167	30 777 899 304,1
Topol	3,583	35 794 447 781,2
Dřevní štěpka	3,383	37 910 584 215,2
Sláma obilovin	4,303	29 805 137 439,0
Sláma kukuřice	4,000	32 062 876 600,0
Lněné stonky	4,694	27 322 434 256,5
Sláma řepky	4,444	28 859 474 887,5

*Zdroj: vlastní*

Výhřevnost zemního plynu se za optimálních podmínek uvádí  $33,48 \text{ MJ/m}^3$  ( $9,3 \text{ kWh/m}^3$ ). Výhřevnost hnědého uhlí tříděného pocházející ze severočeské pánve je např.  $17,18 \text{ MJ/kg}$  ( $4,94 \text{ kWh/kg}$ ). Analogicky bude vypočítáno, kolik je možno ušetřit zemního plynu a hnědého uhlí při využití odpadního tepla v příslušném roce.

Vzorec:

$$q_i = \frac{y_i}{v_j}$$

po dosazení

$$q_{2010} = \frac{y_{2010}}{v_{\text{zemní plyn}}}$$

$$q_{2010} = \frac{128\,251\,506\,428,6}{9,3}$$

$$q_{2010} = 13\,790\,484\,562,2 \text{ m}^3$$

V roce 2010 by se mohlo ušetřit 13 790 484 562,2 m<sup>3</sup> zemního plynu.

$$q_{2010} = \frac{Y_{2010}}{v_{\text{hnědé uhlí třídění}}}$$

$$q_{2010} = \frac{128\,251\,506\,428,6}{4,94}$$

$$q_{2010} = 25\,961\,843\,406,6 \text{ kg}$$

V roce 2010 by se mohlo ušetřit 25 961 843 406,6 kg hnědé uhlí tříděného.

V tabulce jsou dopočítány úspory zemního plynu a hnědé uhlí tříděného za období 2001 – 2010.

Tabulka 7: Úspora zemního plynu a hnědého uhlí tříděného při využití odpadního tepla

Rok	$y_i$	Úspora zemního plynu (m <sup>3</sup> )	Úspora hnědého uhlí tříděného (kg)
2001	113 431 600 385,7	12 196 946 278,0	22 961 862 426,3
2002	115 416 211 114,3	12 410 345 281,1	23 363 605 488,7
2003	127 907 394 685,7	13 753 483 299,5	25 892 185 159,1
2004	128 415 063 857,1	13 808 071 382,5	25 994 952 197,8
2005	124 835 098 142,9	13 423 128 832,6	25 270 262 782,0
2006	127 131 876 300,0	13 670 094 225,8	25 735 197 631,6
2007	134 162 214 057,1	14 426 044 522,3	27 158 342 926,5
2008	127 042 809 142,9	13 660 517 112,1	25 717 167 842,7
2009	123 950 750 000,0	13 328 037 634,4	25 091 244 939,3
2010	128 251 506 428,6	13 790 484 562,2	25 961 843 406,6

*Zdroj: vlastní*

V další tabulce jsou analyzovány další vybrané druhy paliv. Množství je vypočítáno dle vzorce 5. 5. Výhřevnost udána pro hnědé uhlí je 5 kWh/kg, pro černé uhlí 6,42 kWh/kg, pro dřevo 4,06 kWh/kg a pro dřevní štěpku 3,383 kWh/kg.

Tabulka 8: Úspora vybraného paliva

Rok	Úspora hnědého uhlí (kg)	Úspora černého uhlí (kg)	Úspora dřeva (kg)	Úspora dřevní štěpky (kg)
2001	22 686 320 077,1	17 668 473 580,3	27 938 817 829,0	33 529 884 831,7
2002	23 083 242 222,9	17 977 602 977,3	28 427 638 205,5	34 116 527 080,8
2003	25 581 478 937,1	19 923 270 200,3	31 504 284 405,3	37 808 866 297,9
2004	25 683 012 771,4	20 002 346 395,2	31 629 326 073,2	37 958 931 084,0
2005	24 967 019 628,6	19 444 719 336,9	30 747 561 118,9	36 900 708 880,5
2006	25 426 375 260,0	19 802 472 943,9	31 313 270 024,6	37 579 626 455,8
2007	26 832 442 811,4	20 897 541 130,4	33 044 880 309,6	39 657 763 540,4
2008	25 408 561 828,6	19 788 599 555,0	31 291 332 301,2	37 553 298 593,8
2009	24 790 150 000,0	19 306 970 405,0	30 529 741 379,3	36 639 299 438,4
2010	25 650 301 285,7	19 976 870 160,2	31 589 040 992,3	37 910 584 223,6

*Zdroj: vlastní*

## 5.2. Dílčí shrnutí

V této části byly vysvětleny tyto následující vzorce.

$$x_i = \left( \frac{\text{parní el. v roce } i + \text{jaderné el. v roce } i + \text{paroplynové a spalovací el. v roce } i}{100} \right) * \text{výroba el. energie v roce } i$$

$$y_i = \frac{55}{35} * x_i$$

$$z_i = \frac{10}{35} * x_i$$

$$m_i = x_i + y_i + z_i$$

$$q_i = \frac{y_i}{v_j}$$

Bylo vypočítáno množství odpadního tepla a to dále modelováno na možné následné využití. Při využívání veškerého odpadního tepla by nejvyšších úspor vztažených na hmotnost paliva bylo dosaženo při využívání dřevní štěpky a topolu, je to způsobené kvůli jejich nízké výhřevnosti.

V další části budou tyto výsledky řešeny statisticky.

## 6. Statistické výpočty

V této části bude nejprve vysvětlen regresní model. Regresní model byl zvolen z důvodu zjištění závislosti dat a predikci dalšího vývoje. Budou zjišťovány závislosti mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií, mezi časem a vyrobenou elektrickou energií. Bude odhadnut budoucí vývoj výroby elektrické energie a množství odpadního tepla. Dále budou aplikována poměrová čísla.

### 6.1. Regresní model

Jednoduchým modelem lineární regrese nazýváme takový lineární model, kdy grafem regresní funkce je přímka. Přímka  $y = A + Bx$  se nazývá regresní přímka, B je její směrnice. Úkolem je odhadnout neznámé parametry A a B. Bodové odhady parametrů A, B získáme metodou nejmenších čtverců [17].

Odhad regresní funkce:

$$Y = A + Bx \tag{6.1}$$

Odhad parametru A a B:

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \tag{6.2}$$

$$A = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i - B \sum_{i=1}^n x_i \right) \tag{6.3}$$

Celkovou variabilitu veličiny Y charakterizuje celkový součet čtverců odchylek

$$S_Y = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \tag{6.4}$$

Vysvětlený součet čtverců odchylek charakterizuje tu část celkové variability, která je vysvětlená regresním modelem.

$$S_T = A \sum_{i=1}^n y_i + B \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \quad (6.5)$$

Reziduální rozptyl:

$$S_{rez}^2 = \frac{1}{n-2} * \sum_{i=1}^n y_i^2 - A \sum_{i=1}^n y_i - B \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \quad (6.6)$$

Reziduální směrodatná odchylka:

$$S_{rez} = \sqrt{S_{rez}^2} \quad (6.7)$$

Koeficient determinace určuje, jakou část variability sledovaných hodnot je možné vysvětlit daným modelem. Nabývá hodnot z intervalu <0,1>

$$R^2 = \frac{S_T}{S_Y} \quad (6.8)$$

Dále budou zjištěné parametry testovány.

Testování hypotézy  $H_0 : B = B_0$  proti alternativní hypotéze  $H_1: B \neq B_0$ .

Testovací kritérium má tvar:  $T = \frac{B - \beta_0}{S_{rez}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ . Za předpokladu, že náhodná veličina T má Studentovo rozdělení pravděpodobnosti s n - 2 stupni volnosti.

Kritickou oblastí je množina  $W = \{T: |T| > t_{\alpha, n-2}\}$ . V případě, že  $H_0$  nezamítáme, můžeme tvrdit, že proměnná X nezávisí na proměnné Y [17].

Testování hypotézy  $H_0: A = A_0$  proti alternativní hypotéze  $H_1: A \neq A_0$ .

$$T = \frac{A - \alpha_0}{S_{rez} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}}$$



Za předpokladu platnosti hypotézy  $H_0$  má náhodná veličina  $T$  Studentovo rozdělení pravděpodobností s  $n - 2$  stupni volnosti [17].

Kritickou oblastí je množina  $W = \{T: |T| > t_{\alpha, n-2}\}$ .

### 6.1.1. Závislost mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií

V ČR není všechna vyrobená elektrická energie spotřebovaná, ale je distribuovaná do dalších zemí. Pro výpočet závislosti mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií byla použita lineární regrese. Tabulka 9 uvádí konkrétní výpočty proměnných, poslední řádek je součtem předchozích řádků.

$x_i$  nezávislá proměnná, vyrobená elektrická energie GWh

$y_i$  závisle proměnná, spotřebovaná elektrická energie GWh

Tabulka 9: Výpočet proměnných u závislosti mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií

$x_i$	$y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$	$x_i * y_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
74 647	65 108	5 572 189 538	4 239 090 729	4 860 145 781	62 251 153
76 348	64 961	5 829 001 834	4 219 905 537	4 959 620 662	38 305 454
83 227	67 014	6 926 666 948	4 490 809 182	5 577 305 759	475 493
84 333	68 616	7 112 054 889	4 708 114 287	5 786 567 828	3 225 472
82 579	69 945	6 819 208 662	4 892 233 080	5 775 911 893	1 719
84 361	71 730	7 116 761 449	5 145 121 170	6 051 165 177	3 326 465
88 198	72 045	7 778 940 123	5 190 510 843	6 354 264 163	32 049 865
83 518	72 049	6 975 256 324	5 191 101 631	6 017 413 437	962 282
82 250	68 606	6 765 062 500	4 706 810 678	5 642 859 950	82 392
85 910	67 836	7 380 545 282	4 601 831 434	5 827 866 272	11 377 534
<b>825 370</b>	<b>687 910</b>	<b>68 275 687 549</b>	<b>47 385 528 571</b>	<b>56 853 120 922</b>	<b>152 057 830</b>

Zdroj: vlastní

$$B = \frac{10 * 56 120 922,5 - 825 370,4 * 687 909,8}{10 * 68 275 687 549,3 - 825 370^2}$$

$$B = 0,4938$$

$$A = \frac{1}{10} * (687\,909,8 - 0,4938 * 825\,370,4)$$

$$A = 28\,036,3$$

Tvar lineární regrese:

$$Y = 28\,036,3 + 0,4938 x$$

$$S_Y = 47\,385\,528\,571 - \frac{1}{10} * (687\,909,8)^2$$

$$S_Y = 63\,539\,277,38$$

$$S_T = 28\,036,3 * 687\,909,8 + 56\,853\,120\,922,5 - \frac{1}{10} * (687\,909,8)^2$$

$$S_T = 37\,073\,679,79$$

$$R^2 = \frac{37\,073\,679,9}{63\,539\,277,38}$$

$$R^2 = 0,5835$$

$$S_{rez}^2 = \frac{1}{10-2} * (47\,385\,528\,571 - 28\,036,3 * 687\,909,8 - 0,4938 * 58\,853\,120\,933,5)$$

$$S_{rez}^2 = 3\,308\,199,7$$

$$S_{rez} = \sqrt{3\,308\,199,7}$$

$$S_{rez} = 1818,8$$

$H_0: A = 0$  proti alternativní hypotéze  $H_1: A \neq 0$

$$T = \frac{28\,036,3 - 0}{1818,8 * \sqrt{\frac{1}{8} * \frac{82\,537^2}{152\,057\,829,7}}}$$

$$T = 2,2997$$

$$\text{KO: } W = \{T: |2,2997| > 2,306\}$$

Hypotéza není zamítnuta, parametr regresní přímky je roven 0.

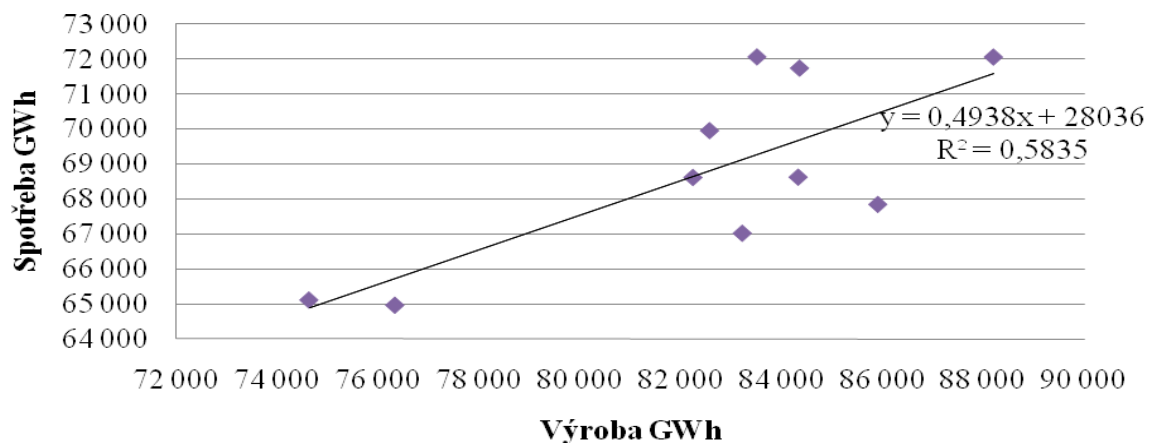
$H_0: B = 0$  proti alternativní hypotéze  $H_1: B \neq 0$

$$T = \frac{0,4938 - 0}{1818,8} * \sqrt{152\,057\,829,7}$$

$$T = 3,35$$

$$\text{KO: } W = \{T: |3,35| > 2,306\}$$

Hodnota testovacího kritéria padla do oblasti kritických hodnot. Hypotéza je zamítnuta. Mohu tvrdit, že ve skutečnosti  $y$  na  $x$  závisí. Existuje závislost mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií.

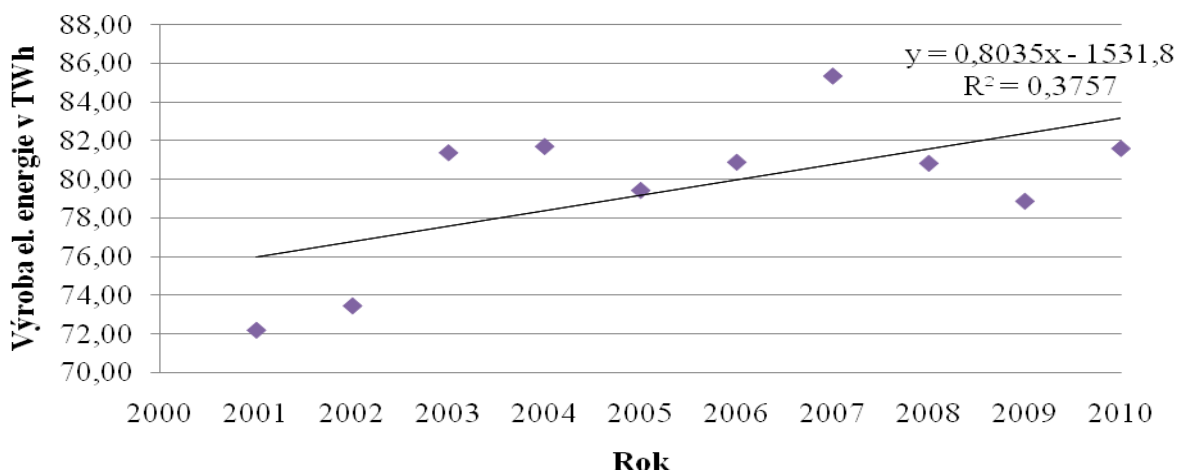


Obrázek 17: Závislost spotřeby a výroby elektrické energie

Zdroj: vlastní

### 6.1.2. Závislost mezi časem a vyrobenou elektrickou energií

Nyní bude řešena závislost mezi časem a vyrobenou elektrickou energií. Z obrázku 18 je patrné, že regresní lineární přímka má tvar  $y = 0,8035x - 1\,531,8$ . Tento výsledek byl zjištěn přes program MS Excel. Tabulka 18, která je uvedena v příloze, udává bližší výpočty. Jednotlivé roky do modelu vstupují jako nezávislé proměnné a výroba elektrické energie jako závislá proměnná. Pro vhodnější názornost byla závislá proměnná převedena na TWh.



Obrázek 18: Bodový graf závislostí s proloženou regresní lineární přímkou  $y = 0,8035 x - 1\,531,8$

*Zdroj: vlastní*

Dále bude proveden test významnosti pro parametry A a B.

$H_0: A = 0$  proti alternativní hypotéze  $H_1: A \neq 0$

$$T = \frac{-1531,84 - 0}{311 * \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{2\,005,5^2}{82,5}}}$$

$$T = -0,0221$$

$$\text{KO: } W = \{T: |-0,0221| > 2,306\}$$

Hypotéza nepadla do oblasti kritických hodnot. Hypotéza není zamítnuta. Parametr regresní přímky je roven 0.

$H_0: B = 0$  proti alternativní hypotéze  $H_1: B \neq 0$

$$T = \frac{0,8035 - 0}{311} * \sqrt{82,5}$$

$$T = 0,0235$$

KO:  $W = \{T: |0,0235| > 2,306\}$

Hypotéza nepadla do oblasti kritických hodnot. Proměnná  $y$  nezávisí na  $x$ , tedy výroba energie nezávisí na času.

## 6.2. Poměrová čísla

V této části je nejprve vysvětlen výpočet bazického a řetězového indexu a poté jsou vypočítány konkrétní hodnoty v příslušných letech. Cílem je zmapovat situaci v ČR a zachytit vývoj výroby elektrické energie a odpadního tepla pomocí regresní lineární přímky.

Výpočet bazického indexu ( $b_i$ ):

První rok je označen jako výchozí, jedná se o rok 2001 a je mu přiřazena hodnota 100 %, tedy  $x_{2001} = 100$ . Proměnná  $x_i$  vyjadřuje hodnotu výroby elektrické energie v příslušném roce. Dále se postupuje podle vzorce:

$$b_i = \left( \frac{x_i}{x_{2001}} \right) * 100 \tag{5.6}$$

Výsledek zachycuje vývoj výroby elektrické energie v % za období 2001 - 2010 a je zaokrouhlen na jedno desetinné místo.

Výpočet řetězového indexu ( $c_i$ ):

Tento výpočet určuje vývoj výroby elektrické energie oproti předcházejícímu roku  $i - 1$ .

$$c_i = \left( \frac{x_i}{x_{2001}} \right) * 100 \quad (5.7)$$

Opět výsledek je uveden v procentech a zaokrouhlen na jedno desetinné místo.

Konkrétní aplikace výpočtu bazického a řetězového indexu za rok 2010 na výrobu elektrické energie:

$$b_i = \left( \frac{x_{2010}}{x_{2001}} \right) * 100$$

$$b_{2010} = \left( \frac{81\,614\,595,0}{72\,183\,745,7} \right) * 100$$

$$b_{2010} = 113,1 \%$$

$$c_{2010} = \left( \frac{x_{2010}}{x_{2009}} \right) * 100$$

$$c_{2010} = \left( \frac{81\,614\,595,0}{78\,877\,750,0} \right) * 100$$

$$c_{2010} = 103,5 \%$$

Proměnná  $\Delta x_i$  označuje číselné rozdíly  $x_i$  a vypočítá se:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1} \quad (5.8)$$

Konkrétní aplikace:

$$\Delta x_{2010} = x_{2010} - x_{2009}$$

$$\Delta x_{2010} = 81\,614\,595,0 - 78\,877\,750,0$$

$$\Delta x_{2010} = 2\,736\,845 \text{ MWh}$$

Z tabulky 9 je zřejmé, že nelze tvrdit, že výroba elektrické energie každým rokem roste. Výjimkou jsou roky 2005, 2008 a 2009, kdy naopak došlo k poklesu výroby elektrické energie oproti předcházejícímu roku 2001. Největší nárůst nastal v roce 2007, kdy se výroba elektrické energie zvýšila o 18 %.

Tabulka 10: Výpočet bazického a řetězového indexu výroby elektrické energie

Rok	$x_i$	$\Delta x_i$	$b_i$	$c_i$
2001	72 183 745,7		100,0	
2002	73 446 679,8	1 262 934,1	101,7	101,7
2003	81 395 614,8	7 948 935,0	112,8	110,8
2004	81 718 677,0	323 062,2	113,2	100,4
2005	79 440 517,0	- 2 278 160,0	110,1	97,2
2006	80 902 103,1	1 461 586,1	112,1	101,8
2007	85 375 954,4	4 473 851,3	118,3	105,5
2008	80 845 424,0	- 4 530 530,4	112,0	94,7
2009	78 877 750,0	- 1 967 674,0	109,3	97,6
2010	81 614 595,0	2 736 845,0	113,1	103,5

*Zdroj: vlastní*

Z tabulky 10 vyplývá, stejně jako u výroby elektrické energie, že došlo k poklesu produkce odpadního tepla v letech 2005, 2008 a 2009. Opět největší nárůst nastal v roce 2007, kdy se produkce zvýšila o 18 %. Hodnoty jsou velmi podobné jako v tabulce 11, je to způsobeno tím, že dané veličiny spolu korelují.

Tabulka 11: Výpočet bazického a řetězového indexu odpadního tepla

<b>Rok</b>	<b><math>y_i</math></b>	<b><math>\Delta y_i</math></b>	<b><math>b_i</math></b>	<b><math>c_i</math></b>
2001	113 431 600,4		100,0	
2002	115 416 211,1	1 984 610,7	101,7	101,7
2003	127 907 394,7	12 491 183,6	112,8	110,8
2004	128 415 063,9	507 669,2	113,2	100,4
2005	124 835 098,1	- 3 579 965,8	110,1	97,2
2006	127 131 876,3	2 296 778,2	112,1	101,8
2007	134 162 214,1	7 030 337,8	118,3	105,5
2008	127 042 809,1	- 7 119 405,0	112,0	94,7
2009	123 950 750,0	- 3 092 059,1	109,3	97,6
2010	128 251 506,4	4 300 756,4	113,1	103,5

*Zdroj: vlastní*



### **6.3. Dílčí shrnutí**

V této části byly vypočítány bazické a řetězové indexy. Data jsou velmi podobná, jelikož spolu veličiny korelují. Pro lepší názornost by bylo vhodné počítat bazické a řetězové indexy z celkové vyrobené elektrické energie, ne jen z parních, jaderných, paroplynových a spalovacích elektráren.

Na základě regresní lineární přímky byl odhadnut vývoj v příštích pěti letech. Předpokládá se růst, záleží na mnoha faktorech, které tuto výši ovlivňují.

## 7. Komparace úspor vybraných druhů paliv

V této kapitole jsou dále aplikovány výsledky ušetřeného množství v Kč. Je zde vypočítána úspora černého a hnědého uhlí, dřeva a štěpky.

### 7.1. Minulý vývoj úspor

Tabulka 11 uvádí vybrané druhy paliva a jejich cenu za 1 kg. Pro zjednodušení je cena po celé období 2001 - 2010 konstantní. V tabulkách 7 a 8 byla vypočítána úspora těchto paliv v kg, nyní bude určena cena celkového ušetřeného množství.

Tabulka 12: Cena konkrétního paliva

Druh paliva	Cena 1 kg paliva v Kč
Hnědé uhlí	2,90
Černé uhlí	4,80
Dřevo	3,00
Štěpka	2,00

Zdroj: [28]

Celková cena ušetřeného množství  $j$  v roce  $i$  (proměnná  $T_i$ ) se vypočítá podle jednoduchého vzorce:

$$T_i = P * Q_j \quad (7.1)$$

Po dosazení se ušetřené množství hnědého uhlí za rok 2010 určí:

$$T_{2010} = 2,9 * 25\,650\,301\,285,7$$

$$T_{2010} = 75\,289\,345\,879,1 \text{ Kč}$$

V roce 2010 by se mohlo ušetřit při využití odpadního tepla při spalování hnědého uhlí 75 289 345 879,1 Kč.

Tabulka 12 udává celkovou možnou ušetřenou částku těchto vybraných druhů paliva. Výhřevnost je pro hnědé uhlí 5 kWh/kg, pro černé uhlí 6,42 kWh/kg, pro dřevo 4,06 kWh/kg a pro dřevní štěpku 3,383 kWh/kg.

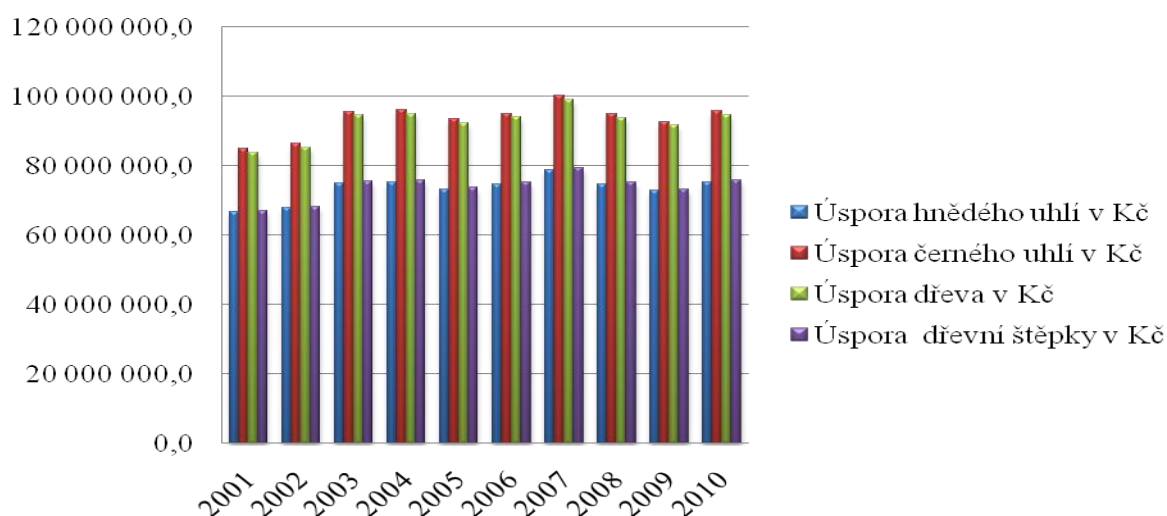
Tabulka 13: Úspora vybraného druhu paliva v Kč

Rok	Úspora hnědého uhlí (Kč)	Úspora černého uhlí (Kč)	Úspora dřeva (Kč)	Úspora dřevní štěpky (Kč)
2001	66 589 401 036,1	84 808 673 185,6	83 816 453 487,0	67 059 769 663,4
2002	67 754 455 917,3	86 292 494 291,1	85 282 914 616,5	68 233 054 161,6
2003	75 087 336 961,2	95 631 696 961,3	94 512 853 216,0	75 617 732 595,8
2004	75 385 361 373,6	96 011 262 696,9	94 887 978 219,6	75 917 862 168,0
2005	73 283 762 067,7	93 334 652 817,1	92 242 683 356,8	73 801 417 761,1
2006	74 632 073 131,6	95 051 870 130,8	93 939 810 073,9	75 159 252 911,6
2007	78 759 194 487,0	100 308 197 425,9	99 134 640 928,9	79 315 527 080,8
2008	74 579 786 743,8	94 985 277 863,8	93 873 996 903,6	75 106 597 187,6
2009	72 764 610 323,9	92 673 457 943,9	91 589 224 137,9	73 278 598 876,7
2010	75 289 345 879,1	95 888 976 769,0	94 767 122 976,8	75 821 168 447,3

Zdroj: vlastní

Z tabulky je patrné, že nejvyšší úspora by byla v roce 2007 z černého uhlí. V tomto roce je zaznamenána nejvyšší úspora ze všech druhů vybraných paliv. Poté je zaznamenán vliv finanční krize. V roce 2010 se trh paliv vrací zpět na úroveň, které bylo dosahováno v roce 2006. Mnoho ekonomů uvádí, že finanční krize pomalu doznívá, jak je i z obrázku 19 patrné.

V další části budou vypočítány odhady, kdy by se trh mohl vrátit zpět na původní či vyšší množství. Jedná se jen o modelovou situaci, kdy se počítá se stejnou cenou paliva, jen je měněno jeho množství.



Obrázek 19: Úspory vybraných druhů paliv

Zdroj: vlastní

Cena zemního plynu, kterou udává RWE Energie a. s. při nejvyšší spotřeba, je  $12,23 \text{ Kč/m}^3 + 438,92 \text{ Kč/měsíc}$ . Roční úspora je vypočítaná podle vzorce:

$$\text{Úspora zemního plynu v Kč} = \text{úspora zemního plynu (m}^3\text{) za rok } i * 12,23 + (12 * 438,92) \quad (6.2)$$

Tabulka 14: Úspora zemního plynu v Kč

Rok	Úspora zemního plynu (m <sup>3</sup> )	Úspora zemního plynu (Kč)
2001	12 196 946 278,0	151 973 955 891,3
2002	12 410 345 281,1	154 632 907 469,6
2003	13 753 483 299,5	171 368 407 179,3
2004	13 808 071 382,5	172 048 574 692,8
2005	13 423 128 832,6	167 252 190 520,8
2006	13 670 094 225,8	170 329 379 320,6
2007	14 426 044 522,3	179 748 520 014,6
2008	13 660 517 112,1	170 210 048 484,2
2009	13 328 037 634,4	166 067 354 191,8
2010	13 790 484 562,2	171 829 442 912,2

*Zdroj: vlastní*

## 7.2. Odhadovaný vývoj úspor

Z výše uvedené tabulky jsou určeny rovnice regresivní křivky. Tvar rovnice pro hnědé uhlí je  $y = 0,7412x - 1\,413,1$ ; pro černé uhlí  $y = 0,944x - 1\,799,8$ ; pro dřevo  $y = 0,933x - 1\,778,7$  a pro dřevní štěpku  $y = 0,7465x - 1\,423,1$ . Do těchto rovnic jsou dosazeny hodnoty příštích pěti let a výsledky jsou porovnány se stavem z roku 2007. Odhad je ve výši mld. Kč, z toho důvodu, že by rovnice dosahovala vysokých koeficientů A a B.

Tabulka 15: Odhad úspory vybraných druhů paliva v letech 2011 – 2015 v mld. Kč

Rok	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Dřevo	Dřevní štěpka
2011	77,45	98,58	97,56	78,11
2012	78,19	99,53	98,50	78,86
2013	78,94	100,47	99,43	79,60
2014	79,68	101,42	100,36	80,35
2015	80,42	102,36	101,30	81,10

*Zdroj: vlastní*

Pokud jsou porovnány hodnoty z obou tabulek, předpokládá se, že nárůst nastane v průběhu roku 2013, kdy by se měly hodnoty vrátit nad úroveň z roku 2007. Pokud je sečtená uspořená výše z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů za rok 2015 a je vypočítán aritmetický průměr, lze tvrdit, že průměrné částky jsou velmi podobné. Uspořená aritmetická částka v obou případech je 91 mil. Kč.

### 7.3. Dílčí shrnutí

Tato kapitola byla věnována ocenění úspor. Byla zjištěna jednotková cena za kg vybraných druhů paliv. Celková cena ušetřeného množství  $j$  uhlí, dřeva a biomasy v roce  $i$  byla vypočítána podle vzorce:  $T_i = P * Q_j$ . Nejvyšších hodnot bylo v posledních deseti letech dosaženo při spalování zemního plynu. Úspora zemního plynu byla řešena podle vzorce: úspora zemního plynu v Kč = úspora zemního plynu ( $m^3$ ) za rok  $i * 12,23 + (12 * 438,92)$ . Dále byl odhadnut vývoj potenciálních úspor uhlí, dřeva a biomasy v dalších pěti letech.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo modelování úspor při využití odpadního tepla. Odpadní teplo je v malé části využíváno, ale celkový potenciál je mnohem vyšší.

V první polovině práce byla charakterizována problematika využívání obnovitelných a neobnovitelných zdrojů. Bylo poukázáno na to, že na výrobě elektrické energie se ve větší míře podílejí neobnovitelné zdroje. Díky směrnici, kterou vydala Evropská unie, by se tato situace měla zlepšit. ČR se zavázala do konce roku 2020 splnit ukazatel podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie do výše 13 %. Ze současných výsledků se pravděpodobně tento závazek podaří splnit.

Při výpočtu množství se vycházelo ze čtyř proměnných  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$  a  $m_i$ . Proměnná  $x_i$  představovala množství elektrické energie, které bylo vyrobeno v parních, jaderných, paroplynových a spalovacích elektrárnách. Proměnná  $y_i$  charakterizuje množství odpadního tepla. Proměnná  $z_i$  určuje množství ztrát v příslušném roce. Poslední použitá proměnná  $m_i$  označuje možný maximální výkon elektráren. Celkový možný maximální výkon elektráren se skládá přibližně z 35 % vyrobené elektřiny, 55 % odpadního tepla a 10 % ztrát.

K výpočtům zjištění závislosti dat a k predikci dalšího vývoje byl využit regresní model. Závislost mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií se potvrdila a hypotéza byla přijata. Následovně bylo řešeno, zda existuje závislost mezi časem a vyrobenou elektrickou energií. Tato hypotéza se nepotvrdila.

Na množství odpadního tepla  $y_i$  byla použita analýza poměrových čísel, jejíž výsledky dokázaly, že finanční krize se na výrobě elektrické energie (tudíž i na množství vyprodukovaného odpadního tepla) a spotřebě projevila.

V poslední části bylo z množství úspor hnědého uhlí, černého uhlí, dřeva a dřevní štěpky vypočítáno, že nejvyšších úspor v korunovém vyjádření je dosahováno při využívání černého uhlí.

## Použitá literatura

1. AGUSTA, Pavel, et al. *Velká kniha o energii*. Praha: L. A. Consulting Agency spol. s r.o., 2001. 377 s. ISBN 80-238-6578-1.
2. BACHER, Pierre. *Energie pro 21. století*. Praha: Krigl, 2003. 182 s. ISBN 80-902403-7-2.
3. BELICA, Petr, et al. *Průvodce energetickými úsporami a obnovitelnými zdroji energie*. 1. vydání. Lanškroun: Regionální energetické centrum, o.p.s., Valašské Meziříčí ve spolupráci s TG Tisk s.r.o., 2006. 88 s. ISBN 80-903680-1-8.
4. *Biom.cz biomasa, biopaliva, bioplyn, pelety, kompostování a jejich využití* [online]. 2001-2009 [cit. 2011-02-17]. Rostlinné oleje jako motorová paliva. Zdroje. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>>.
5. CALLA. *Změna klimatu* [online]. c2007 [cit. 2011-03-23]. Kalkulačka uhlíkové stopy ..... a jak jste na tom vy? Dostupné z WWW: <<http://kalkulacka.zmenaklimatu.cz/kalkulacka.html>>.
6. Český statistický úřad. *Český statistický úřad* [online]. 25. 11. 2009 [cit. 2011-02-21]. Ročenky. Dostupné z WWW: <<http://www.czso.cz/csu/2009edicniplan.nsf/kapitola/0001-09-2009-1600>>.
7. ČEZ a.s. *Skupina ČEZ* [online]. 19. 1. 2011 [cit. 2011-02-23]. Malé vodní elektrárny lámaly rekordy a přepisovaly historii. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/3221.html>>.
8. *DIAMO státní podnik Stráž pod Ralskem* [online]. c2011 [cit. 2011-02-23]. Jihomoravské lignitové doly Hodonín. Dostupné z WWW: <<http://www.diamo.cz/hodonin>>.
9. *ekoWATT* [online]. 2008 [cit. 2011-02-15]. Energie biomasy. Dostupné z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/energie-biomasy>>.



10. Eurostat [online]. 2011 [cit. 2011-02-17]. Renewable energy statistics - Issue number 56/2010. Dostupné z WWW:  
<[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-SF-10-056/EN/KS-SF-10-056-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-10-056/EN/KS-SF-10-056-EN.PDF)>.
11. Finance media a.s. *Finance.cz poznejte hodnotu informace* [online]. 17. 9. 2008 [cit. 2011-03-09]. Ropa nejdůležitější komodita současnosti. Dostupné z WWW:  
<<http://www.finance.cz/zpravy/finance/190093-ropa-nejdulezitejsi-komodita-soucasnosti/>>.
12. Global Vision a.s. *ZTC Energy* [online]. c2009 [cit. 2010-12-06]. Geotermální energie. Dostupné z WWW: <[www.ztcenergy.com](http://www.ztcenergy.com)>.
13. Hlaváček Webdesign. *Fotovoltaické systémy* [online]. c2010 [cit. 2011-03-09]. Solární panely. Dostupné z WWW: <<http://www.fotovoltaicke-systemy.info/>>.
14. IT Systems a.s. *Energetický regulační úřad* [online]. 2007 [cit. 2010-12-06]. Elektřina. Dostupné z WWW: <[www.eru.cz](http://www.eru.cz)>.
15. JIRÁSEK, Jakub; SIVEK, Martin; LÁZNIČKA, Petr. *Ložiska ČR* [online]. 2009 [cit. 2011-02-23]. Evidovaná ložiska nerostů České republiky. Dostupné z WWW: <[http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska\\_cr.html#HN%C4%9AD%C3%89%20UHL%C3%8D](http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_cr.html#HN%C4%9AD%C3%89%20UHL%C3%8D)>.
16. KADRNOŽKA, Jaroslav. *Energie a globální oteplování: Země v proměnách při opatřování energie*. 1. vydání. Brno: VUTIUM, 2006. 189 s. ISBN 80-214-2919-4.
17. KUBANOVÁ, Jana. *Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi*. 2. vydání. Bratislava: Statis, 2004. 249 s. ISBN 80-85659-37-9.
18. LOMBORG, Björn. *Skeptický ekolog*. 2. dotisk. Vimperk: Nakladatelství Dokořán, s.r.o., 2007. 587 s. ISBN 80-7363-059-1, ISBN: 80-86389-42-4.
19. MALAŤÁK, Jan; VACULÍK, Petr. *Biomasa pro výrobu energie*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 206 s. ISBN 978-80-213-1810-6.

20. MAUGERI, Leonardo. *The age of oil : the mythology, history, and future of the world's most controversial resource* [online]. 1. vydání. Westport (Pensylvánie) : Praeger Publishers, c2006 [cit. 2011-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://books.google.cz/books?id=JWmx5uKA6gIC&lpg=PR1&dq=oil&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>>. ISBN 0-275-99008-7.
21. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 10. 5. 2010 [cit. 2010-12-06]. Státní energetická koncepce ČR. Dostupné z WWW: <[www.mpo.cz](http://www.mpo.cz)>.
22. Ministerstvo životního prostředí. *Ochrana klimatu* [online]. c2008-2011 [cit. 2011-03-01]. Větrné elektrárny. Dostupné z WWW: <[http://mzp.cz/cz/vetrne\\_elektrarny](http://mzp.cz/cz/vetrne_elektrarny)>.
23. MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří. *Energie z biomasy*. 2. aktualizované vydání. Brno: ERA, 2008. 92 s. ISBN 978-80-7366-115-1.
24. PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. 1. vydání. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2004. 286 s. ISBN 80-86534-06-5.
25. QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
26. *Regiony24.cz síť internetových novin* [online]. 26. 1. 2011 [cit. 2011-02-23]. Těžba černého uhlí se v Česku od roku 2000 snížila takřka o čtyři miliony tun. Dostupné z WWW: <<http://www.regiony24.cz/44-109651-tezba-cerneho-uhli-se-v-cesku-od-roku-2000-snizila-takrka-o-ctyri-miliony-tun>>.
27. SRDEČNÝ, Karel. *Obnovitelné zdroje energie - Přehled druhů a technologií*. [Praha] : Ministerstvo životního prostředí, 2009. 31 s. ISBN 978-80-7212-518-0.
28. Topinfo s.r.o. *Tzbinfo stavebnictví, úspory energie, technická zařízení budov* [online]. 8. 3. 2010 [cit. 2011-02-22]. Energetická politika. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/energeticka-politika/6296-prehled-rozvoje-obnovitelnych-zdroju-energie>>. ISSN 1801-4399.
29. Týmová iniciativa pro místní udržitelný rozvoj, o.s. *Uhlíková stopa* [online]. 2011 [cit. 2011-03-23]. Kalkulačka uhlíkové stopy. Dostupné z WWW: <<http://www.uhlikovastopa.cz/>>.

30. Vysoká škola chemicko-technologická. *Petroleum.cz* [online]. c2007-2011 [cit. 2011-03-09]. Výskyt ropy v současnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.petroleum.cz/ropa/vyskyt-ropy-soucasnost.aspx>>.
31. WEGER, Jan; HAVLÍČKOVÁ, Kamila a kolektiv. Biomasa: Obnovitelný zdroj v krajině. 1. vydání. Průhonice: VÚKOZ, 2003. 51 s. ISBN 80-85116-32-4.
32. *Zemní plyn* [online]. c2007-2010 [cit. 2010-11-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.zemniplyn.cz>>.
33. ZHANG, Xiao-Ping. *Restrured Electric Powers Systems: Analysis of Electricity Markets with Equilibrium Models* [online]. 1. vydání. Hoboken (New Jersey): John Wiley and Sons, c2010 [cit. 2011-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://books.google.cz/books?id=VNswyv1nsIOC&lpg=PA5&dq=wind%20noise%20electrical%20power%20station&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>>. ISBN 978-0-470-260064-7.

## Příloha

Tabulka 16: Spotřeba elektrické energie na 1 obyvatele

Rok	Spotřeba elektřiny na 1 obyvatele	Počet obyvatel	Průměrná cena elektřiny v domácnostech Kč/kWh
1981	4 290	10 303 208	0,543
1982	4 305	10 314 321	0,536
1983	4 415	10 322 823	0,531
1984	4 560	10 330 481	0,520
1985	4 725	10 336 742	0,510
1986	4 843	10 340 737	0,505
1987	5 007	10 348 834	0,498
1988	5 067	10 356 359	0,495
1989	5 141	10 362 257	0,491
1990	5 117	10 308 682	0,486
1991	4 822	10 317 807	0,483
1992	4 666	10 330 607	0,694
1993	4 624	10 336 162	0,823
1994	4 771	10 330 759	0,817
1995	5 049	10 315 353	0,855
1996	5 249	10 303 642	0,925
1997	5 160	10 294 943	1,070
1998	5 070	10 282 784	1,384
1999	4 946	10 272 784	1,798
2000	5 090	10 272 503	2,022
2001	5 260	10 224 192	2,340
2002	5 253	10 200 774	2,603
2003	5 370	10 201 651	2,650
2004	5 524	10 206 923	2,617
2005	5 635	10 234 092	2,750
2006	5 788	10 266 646	2,951
2007	5 788	103 222 689	3,225
2008	5 799	10 429 692	4,788

Zdroj: [24]

Tabulka 17: Výpočet proměnných u závislosti mezi časem a vyrobenou elektrickou energií

$x_i$	$y_i$	$y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$	$x_i * y_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
2001	113 431 600,4	113,4	4 004 001,0	12 866,7	226 976,6	20,3
2002	115 416 211,1	115,4	4 008 004,0	13 320,9	231 063,3	12,3
2003	127 907 394,7	127,9	4 012 009,0	16 360,3	256 198,5	6,3
2004	128 415 063,9	128,4	4 016 016,0	16 490,4	257 343,8	2,3
2005	124 835 098,1	124,8	4 020 025,0	15 583,8	250 294,4	0,3
2006	127 131 876,3	127,1	4 024 036,0	16 162,5	255 026,5	0,3
2007	134 162 214,1	134,2	4 028 049,0	17 999,5	269 263,6	2,3
2008	127 042 809,1	127,0	4 032 064,0	16 139,9	255 102,0	6,3
2009	123 950 750,0	124,0	4 036 081,0	15 363,8	249 017,1	12,3
2010	128 251 506,4	128,3	4 040 100,0	16 448,4	257 785,5	20,3
<b>20 055</b>	<b>-</b>	<b>796</b>	<b>40 220385</b>	<b>169 604,5</b>	<b>-</b>	<b>82,5</b>

Zdroj: vlastní